

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2013

Václav Vodička

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Bakalářský studijní program: Strojírenství

Zaměření: Řízení výroby

Zvýšení efektivity kontrolních činností zavedením měřicích zařízení s rentgenovou tomografií ve firmě Škoda Auto a.s., závod Mladá Boleslav

Efficiency increasing of control activities due implementation of measuring installation with X-ray tomography in ŠKODA AUTO factory

KOM - 1249

Václav Vodička

Vedoucí práce: Ing. Štěpánka Dvořáčková Ph.D.
Konzultant: Bc. Pavla Landecká (ŠKODA AUTO a.s.)

Počet stran: 58
Počet příloh: 4
Počet obrázků: 18
Počet tabulek: 6
Počet grafů: 9

22.12.2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení : **Václav VODIČKA**
Studijní program : B2341 Strojírenství
Obor : 2301R030 Výrobní systémy
Zaměření : Řízení výroby

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

Zvýšení efektivity kontrolních činností zavedením měřicích zařízení s rentgenovou tomografií ve firmě Škoda Auto a.s., závod Mladá Boleslav

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Shrnutí poznatků o aplikaci rentgenové tomografie v oblasti kontrolní činnosti (všeobecný přehled).
2. Analýza stávajícího stavu kontrolní činnosti (včetně měřicí techniky) v dané firmě.
3. Návrh metodiky pro zvýšení efektivity kontrolních činností s využitím rentgenové tomografie.
4. Realizace metodiky.
5. Hodnocení navrhovaného řešení a porovnání se stávajícím stavem kontrolních činností v dané firmě.
6. Shrnutí a zhodnocení dosažených výsledků a vyvození závěrů.

Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva: ca 30 stran textu

- grafické práce: obrázky, tabulky a grafy - dle potřeby

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

1. MLČOCH, L.; SLIMÁK, I. *Řízení kvality a strojírenská metrologie*. Praha: SNTL/ALFA Praha, 1987. ISBN - .
2. VINGER, M., ZELENKA, A., KRÁL, M. *Metodika projektování výrobních procesů*. 1. vyd. Vydavatelství technické literatury SNTL Praha, 1984. ISBN - .
3. MUSILOVÁ, J.; HOLÝ, V. *Metody studia struktury pevných látek*. 1. Vyd. Státní pedagogické nakladatelství, Praha 1988. ISBN –
4. VALVODA, V. *Rentgenografické difrakční metody*. 1. Vyd. Státní pedagogické nakladatelství, Praha 1979. ISBN -
5. Firemní podklady.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Štěpánka Dvořáčková, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: Bc. Pavla Landecká

ŠKODA AUTO a.s. Mladá Boleslav

Ing. Jiří Karásek – KOM, TU v Liberci

L.S.

Doc. Ing. Jan Jersák, CSc.
vedoucí katedry

Doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.
děkan

V Liberci, dne 21. 10. 2013

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data. Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

**Zvýšení efektivity kontrolních činností zavedením měřicích
zařízení s rentgenovou tomografií ve firmě Škoda Auto a.s.,
závod Mladá Boleslav**

ANOTACE:

Bakalářská práce shrnuje informace o využití rentgenové tomografie v automobilovém průmyslu ve firmě Škoda Auto a.s. Práce se zabývá zvýšením efektivity kontrolních činností na pracovišti rentgenové tomografie.

**Efficiency increasing of control activities due implementation
of measuring installation with X-ray tomography in ŠKODA
AUTO factory**

ANNOTATION:

The bachelor's thesis summarizes information about utilization of X-ray tomography in automotive industry at the Škoda Auto joint-stock company. The Work deals efficiency increasing of control activities on workplace X-ray tomography.

Klíčová slova: RENTGENOVÁ TOMOGRAFIE, KVALITA, OPTIMALIZACE

Keywords: X-RAY TOMOGRAPHY, QUALITY, OPTIMALIZATION

Zpracovatel: TU v Liberci, KOM

Dokončeno: 2013

Archivní označ. zprávy:

Počet stran: 58

Počet příloh: 4

Počet obrázků: 18

Počet tabulek: 6

Počet grafů: 9

MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou/diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum 22.12.2013

.....

Václav Vodička

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucí mé bakalářské práce Ing. Štěpánce Dvořáčkové Ph.D. a konzultantovi Ing. Jiřímu Karáskovi za poskytnutí cenných rad, vedení a trpělivost, díky kterým dospěla tato práce ke zdárnému konci. Panu Lubomírovi Slavíkovi Ph.D. děkuji za kontrolu formy práce.

Dále bych chtěl poděkovat Ing. Pavlu Šenkýřovi a Bc. Pavle Landecké za cenné informace a možnost zpracování bakalářské práce v závodu Škoda Auto a.s. Mladá Boleslav. V neposlední řadě děkuji své rodině za pomoc a trpělivost.

Obsah

1	ÚVOD	9
2	SOUČASNÝ STAV	11
2.1	Rentgenová počítačová tomografie	11
2.2	Využití počítačové tomografie v automobilovém průmyslu	11
2.2.1	Defektoskopie	11
2.2.2	Kontrola rozměrů	12
2.2.3	Kontrola montážních dílců vozidla	13
2.2.4	Další aspekty využití počítačové tomografie	14
2.3	Princip počítačové tomografie.....	14
2.4	Rentgenové záření využívané v počítačové tomografii	15
2.5	Konstrukční prvky souřadnicových strojů s tomografickým senzorem	16
2.5.1	Konstrukční uspořádání.....	16
2.5.2	Rentgenová trubice.....	17
2.5.3	Potřeby napětí rentgenových zdrojů pro skenování různých materiálů.....	18
2.5.4	Rentgenový senzor	19
2.5.5	Otočná osa.....	20
2.5.6	Lineární osa	21
2.6	Metody optimalizace procesu	21
2.6.1	Lean Six Sigma.....	21
2.6.2	SMED- Jednoduchá výměna nástroje v jedné minutě.....	21
2.6.3	Metoda 5S.....	22
2.7	Systém řízení kvality ve firmě Škoda Auto a. s.....	22
2.7.1	Kvalita výroby vozů	22
2.7.2	Počítačový tomograf ve firmě Škoda Auto a.s.....	23
3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	25
3.1	Návrh metodiky pro optimalizaci kontrolních činností na CT zařízení.....	25
3.1.1	Měřicí stroj Tomoscope HV Compact od firmy Werth	31
3.1.2	Postup měření na CT stanici	32

3.1.3	Měřené součásti.....	33
3.1.4	Současný stav procesu na pracovišti	34
3.2	Realizace návrhu metodiky	36
3.2.1	Analýza stávajícího stavu podle metody Lean Six Sigma.	36
3.2.2	Optimalizace interních činností.....	38
3.2.3	Optimalizace externích činností.....	42
3.2.4	Zavedení dvousměnného provozu	46
3.2.5	Možnost skenování součástí s dlouhou dobou skenování přes noc	46
3.2.6	Měřicí programy	47
3.2.7	Optimalizace doby skenování	47
4	POROVNÁVÁNÍ A VYHODNOCENÍ.....	48
4.1	Zvýšení průchodnosti procesu.....	48
4.1.1	Skenování součástí s dlouhou dobou skenování po optimalizaci	49
4.1.2	Vytížení pracovníka po optimalizaci	50
4.1.3	Vyhodnocení upínacího systému Matrix.....	51
4.1.4	Zhodnocení optimalizací ukazateli metody Lean Six Sigma	52
4.2	Finanční zhodnocení optimalizací.....	52
4.2.1	Finanční zhodnocení stavu před optimalizací	53
4.2.2	Finanční zhodnocení stavu po optimalizaci a porovnání.....	54
4.2.3	Finanční porovnání s externím dodavatelem	55
5	DISKUZE VÝSLEDKŮ.....	56
6	ZÁVĚR.....	58
	Seznam obrázků, tabulek a grafů	62
	Seznam příloh	63
	Přílohy	

Seznam použitých zkratk a symbolů

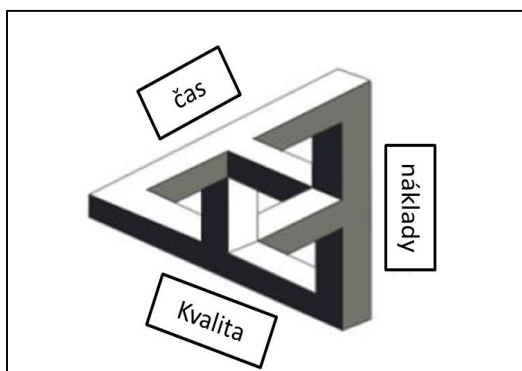
1D	1 – Dimensional
2D	2 – Dimensional
3D	3 – Dimensional
a.s.	Akciová společnost
CAD	Computer Aided Design
CT	Computed Tomography
IN	Výše investice [Kč]
ISO	International Organization for Standardization
MPE	Maximum Permissible Error
n	Počet sledovaných součástí
N	Doba návratnosti [rok]
n_d	Max. počet součástí s dlouhou dobou skenování [%]
N_p	Náklady za hodinu práce [Kč]
n_s	Počet směn
NZ	Náklady za zkoušku [Kč]
P	Propustnost procesu
P	Propustnost zařízení za den
P_s	Sazba za hodinu stroje [Kč]
PC	Personal Computer
PCE	Účinnost cyklu procesu
PLT	Průběžná doba procesu [hod]
QMS	Quality Management System
s	Směrodatná odchylka
SMED	Single Minute Exchange of Die
STL	Stereolithography
T	Počet hodin ve směně
T_{c1}	Čas směnový [hod]
T_{c2}	Čas obecně nutných přestávek [hod]
T_{ex}	Průměrný externí čas bez vyhodnocení v jedné směně [hod]
t_i	Změřený interní čas pro výměnu vzorku [hod]
T_{IC1}	Doba stání stroje ve směně [hod]

t_{ID}	Průměrný interní čas pro výměnu vzorku [hod]
T_n	Doba náběhu CT-zařízení na začátku směny [hod]
t_s	Změřená doba skenování jednoho vzorku [hod]
T_s	Průměrná doba skenování za směnu [hod]
T_{sc3}	Doba skenování ve třetí směně [hod]
t_{sd}	Průměrná doba skenování jednoho vzorku [hod]
t_v	Změřená doba vyhodnocení vzorku [hod]
T_v	Průměrná doba vyhodnocení ve směně [hod]
t_{vd}	Průměrná doba vyhodnocení vzorku [hod]
VA Time	Čas přidávající hodnotu [hod]
$V_{(x)}$	Variační koeficient
WIP	Rozpracované jednotky
\bar{X}	Vážený průměr (střední hodnota)
Z	Získaná roční úspora [Kč]

1 Úvod

Automobilový průmysl je v posledních letech konfrontován s novou konkurenční situací na světových trzích. Nasycení tradičních trhů v USA a v západní Evropě a nárůst výkonné asijské konkurence způsobuje tvrdý konkurenční boj o přízeň každého zákazníka. Zákazník požaduje individualizované a kvalitní výrobky při dobrém poměru cena a výkon. Pro uspokojení požadavků zákazníka a pro udržení konkurenceschopnosti se musí výrobní podnik koncentrovat na tři cíle: zvyšování kvality svých výrobků, zkrácení doby vývoje nových výrobků a snižování nákladů. [1]

Tyto cíle tvoří tzv. „magický trojúhelník“ zobrazený na obrázku 1. Obrázek vyjadřuje konkurenční vztahy mezi výše uvedenými cíli. Zlepšením jedné dimenze dojde ke zhoršení druhé nebo obou ostatních [1].



Obr. 1 Magický trojúhelník [1]

Zvýšená cenová elasticita poptávky nutí výrobce automobilů k neustálému hledání úsporných potenciálů. Tím se dostává do zorného pole také oblast měření a kontrola kvality. Náklady na měření a kontrolu kvality tvoří relativně vysoký podíl výrobních nákladů automobilu [1]. I v tomto oboru se nalézají potenciály na optimalizaci.

Firma Škoda Auto a.s. je jako jedna z mála firem vlastníkem průmyslového počítačového tomografu, který umožňuje odhalení skrytých vnitřních vad nedestruktivní cestou. Použití rentgenové počítačové tomografie ve výrobě přispělo ke zvýšení kvality výrobních součástí a tím i ke kvalitě vozu.

V návaznosti na magický trojúhelník znázorněný na obrázku 1 však není cílem zvyšovat pouze jednu dimenzi magického trojúhelníku - kvalitu, ale je třeba se zaměřit i na současné zlepšení obou dalších dimenzí – nákladů

a času. Cílem této práce je aplikovat tuto filozofii na pracoviště kontrolních činností prováděných na rentgenovém počítačovém tomografu.

V současné době není pracoviště počítačové tomografie schopno pokrýt poptávku po měření v uspokojivém časovém horizontu. Dlouhá průběžná doba procesu může mít více příčin. Cílem této práce je odhalení těchto příčin a jejich eliminace. Zkrácení průběžné doby se odrazí v nákladech ve formě snížení ceny měření. Výstupem práce bude optimalizace pracoviště a následné vyhodnocení.

V experimentální části je řešen vlastní cíl bakalářské práce - zvýšení efektivity kontrolních činností na pracovišti rentgenové tomografie a je popsán návrh metodiky optimalizace. Ve vyhodnocení byly všechny optimalizace časově a finančně vyhodnoceny.

2 Současný stav

V této kapitole bude čtenář nejprve seznámen s využitím rentgenové tomografie v automobilovém průmyslu. V dalším kroku bude vysvětlen princip technologie. V návaznosti na tuto kapitolu bude popsán souřadnicový stroj s tomografickým senzorem s jeho konstrukčními prvky.

Po krátkém seznámení s teoretickými základy metod, které byly použity pro optimalizaci procesu v experimentální části, bude představen systém řízení kvality ve firmě Škoda Auto a.s.

2.1 Rentgenová počítačová tomografie

Počítačová tomografie je stále častěji využívána jako nedestruktivní metoda zkoušek materiálů, která umožňuje 3D-zobrazení objektů a jejich vnitřních částí. Tento druh tomografie je označován jako průmyslová tomografie a používá se v mnoha oblastech lidské činnosti, ať již technických, archeologických, přírodovědných a dalších. Metoda umožňuje mimo jiné detekci necelistvých oblastí v materiálech a změření nepřístupných geometrických struktur. [2]

2.2 Využití počítačové tomografie v automobilovém průmyslu

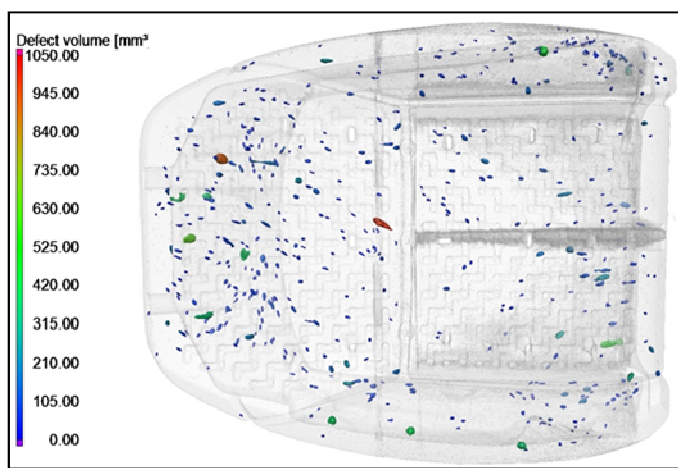
Počítačový tomograf má v průmyslu široké spektrum využití. V následujících podkapitolách budou představeny hlavní oblasti využití, mezi které patří defektoskopie, kontrola rozměrů a kontrola montážních dílců.

2.2.1 Defektoskopie

Jednou z hlavních oblastí využití počítačové tomografie je odhalování defektů, jako jsou dutiny, póry a cizí tělesa. Počítačová tomografie je schopna vygenerovat přesnou informaci o poloze a tvaru těchto objektů. Je možná kvantitativní analýza a rozdělení různých druhů materiálu podle jejich hustoty.

Do této oblasti spadá i oblast analýzy porézních struktur, jako jsou porézní materiály ocelové, keramické a plastové, kompozitní materiály, zapuštěné struktury a sendvičové struktury. [3]

Na níže uvedeném obrázku 2 vidíme celkové množství, rozmístění a velikost nehomogenity pěnové výplně opěradla předního sedadla v automobilu Škoda. Tato analýza je možná pouze metodou počítačové tomografie.



Obr. 2 Pěnová vložka předního opěradla [13]

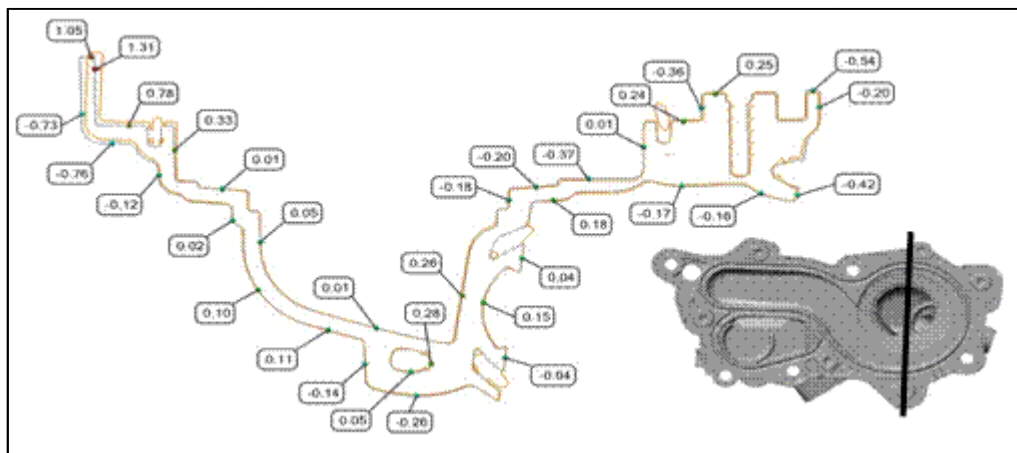
2.2.2 Kontrola rozměrů

Další oblastí využití počítačové tomografie je kontrola geometrie jednotlivých rozměrů. Je možné změřením otvorů, úhlů, tloušťky materiálů atd.

V případě váhově odlehčených konstrukcí se dají pomocí 3D-dat z rentgenové tomografie lehce vytvořit analýzy tloušťky stěn, které nesmějí být podkročeny. Jsou možná geometrická porovnání, zjištění globálních odchylek ohledně smrštění nebo zkroucení součásti a analýzy tvaru a polohy. [3]

Rentgenová tomografie se uplatňuje při prvním vzorkování součástí, které jsou vyrobeny za sériových podmínek. Například při první dávce odlitků z nového sériového nářadí při výrobě motorů se první kusy musí rozřezat a změřit na kritické tloušťky stěn a vnitřní rozměry. Oproti tomu je zjištění těchto údajů počítačovou tomografií nedestrukční, rychlejší a levnější. [5]

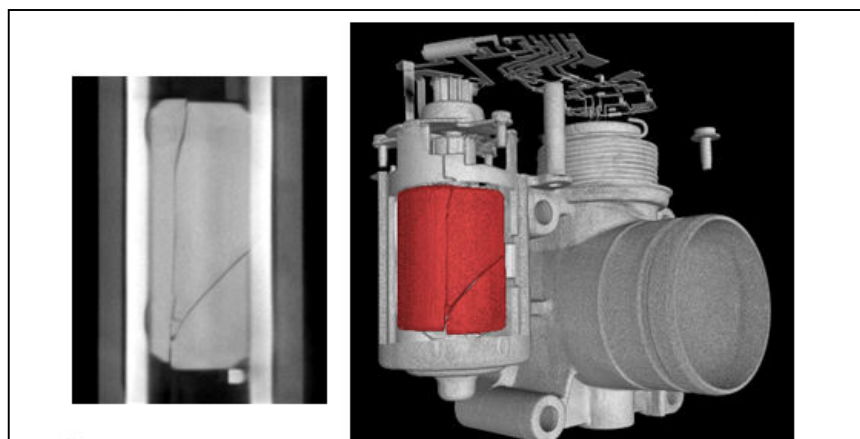
Počítačová tomografie se také používá při metodě Reverse Engineering, kdy se skutečná součást převede do CAD-dat. Tímto je umožněna rychlá výroba náhradních dílů apod. [3]



Obr. 3 Řez pouzdra termostatu - porovnání s CAD-daty [13]

2.2.3 Kontrola montážních dílců vozidla

V případě sestav a montáže více prvků umožňuje rentgenová tomografie kontrolu vnitřních částí na funkčnost a úplnost. Pro rychlé odhalování nedostatků nebo chybějících součástí v těžko rozebíratelných sestavách je počítačová tomografie těžko nahraditelná. [6]



Obr. 4 Škrtecí klapka s prasklým magnetickým ventilem [13]

2.2.4 Další aspekty využití počítačové tomografie

Ručení za produkt

Velkou výhodou počítačové tomografie je ukládání všech 3D-objemových dat zkoušené součásti do paměti počítače. Nasnímaná síť bodů je také k dispozici ve formátu STL. Objemová data i nasnímaná síť bodů se dají využít k dalším vyhodnocením, nebo se mohou archivovat pro pozdější vyhodnocení. V automobilovém průmyslu je toto zajímavé z hlediska ručení za produkt. [7]

Jednání s dodavateli

Výrobce automobilů odebírá mnoho dílů potřebných pro stavbu vozidla od externích dodavatelů. Jedná se o součásti z různých materiálů, které jsou často obtížně rozebíratelné. Při rozebírání součásti na kontrolu vnitřních závad často dochází k porušení funkčnosti těchto součástí a reklamace nejsou dodavatelem uznány. Rentgenová počítačová tomografie umožňuje kontrolu vnitřních částí nedestrukčním způsobem a tím i prokázání závad u těžko rozebíratelných dodávaných dílů. [8]

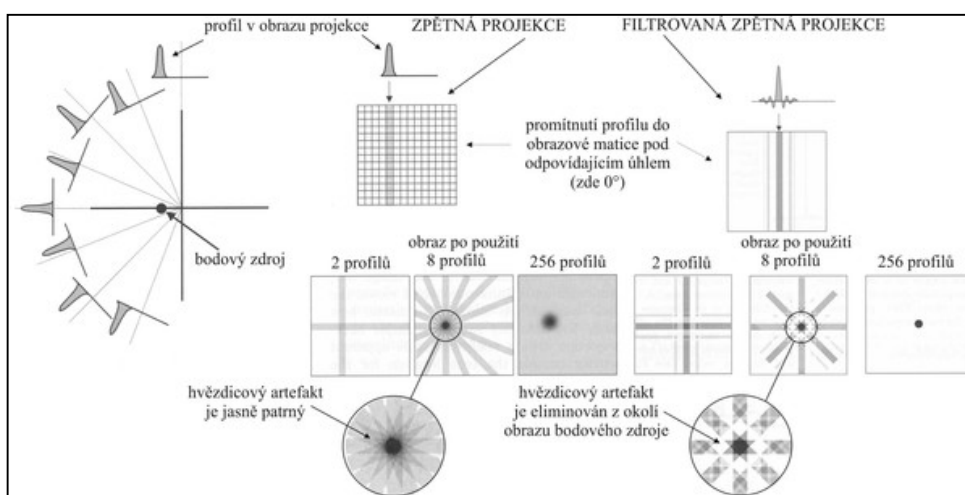
2.3 Princip počítačové tomografie

Počítačová tomografie pracuje na matematických základech Radonovy transformace, kterou objevil rakouský matematik Johann Radon. [4]

Jedná se o matematickou rekonstrukci obrazu získaného z řady rentgenových absorpčních profilů nasnímaných pod různými úhly. Při každé takové projekci zaznamenají detektory míru zeslabení záření a uloží ji do počítače. [4]

Matematickou rekonstrukcí obrazu pomocí algoritmu filtrované zpětné projekce se zjistí pro každý objemový element¹ absorpční stupeň a z toho se vypočítá obraz. Tento obraz je transversální řez analyzovaného objektu. Potom se prozařovaný objekt nebo rentgenový zdroj pootočí a děj se opakuje. Objemové grafiky těles se mohou skládat z několika desítek i stovek takovýchto řezů. [7]

Přesné hodnoty absorpce jsou měřitelné pouze na lineárních, často pouze lékařských CT-přístrojích, a ne na levnějších přístrojích s kuželovým paprskem, které se běžně používají v průmyslové tomografii. [9]



Obr. 5 Princip metody filtrované zpětné projekce [12]

2.4 Rentgenové záření využívané v počítačové tomografii

Rentgenové záření má stejnou fyzikální podstatu jako viditelné světlo, rádiové vlny, mikrovlny, ultrafialové a infračervené záření. Je to elektromagnetické vlnění, které se šíří rychlostí světla, ale vykazuje jinou vlnovou délku.

¹ Objemový element - tzv. **voxel** (volume matrix element). Je to vlastně analogie pixelu v rovinném obraze, ale každý voxel nepředstavuje dvourozměrnou jednotku, ale má také svou hloubku danou tloušťkou řezu objektu [8].

Rentgenové záření je vysokofrekvenční elektromagnetické vlnění, jehož vlnové délky leží v intervalu 10^{-12} až 10^{-8} m. Vzniká při přeměně energie rychle se pohybujících elektronů, které dopadají na povrch kovu a tím se mění na energii elektromagnetického záření. [11]

Využívané vlastnosti rentgenového záření:

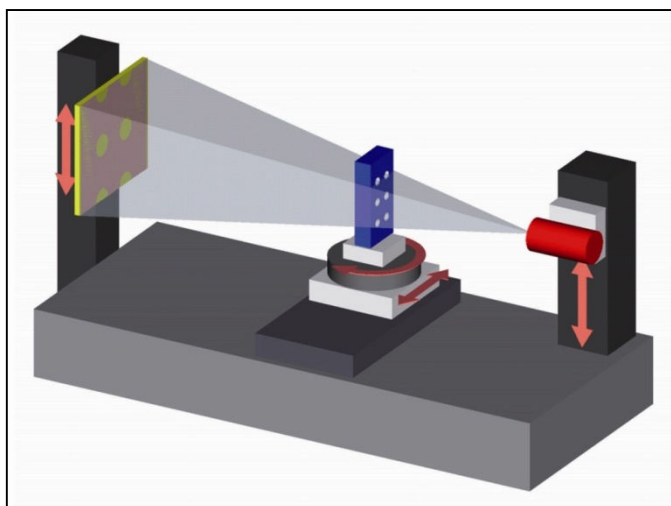
- rentgenové záření procházející hmotou je částečně absorbováno,
- změna intenzity rentgenového záření je funkcí energie rentgenového záření a struktury prozařovaného materiálu,
- pohlcování rentgenového záření je závislé na hustotě a protonovém čísle materiálu (čím větší je protonové číslo, hustota a tloušťka materiálu, tím více je rentgenové záření pohlceno), kterým záření proniká,
- rentgenové záření způsobuje zčernání fotografické desky nebo filmu.

Rentgenové záření vyvolává v organismu biologické, chemické a genetické změny. Osoby přicházející do styku s rentgenovým zářením, musí být před jeho nežádoucími účinky chráněny. Je třeba dodržovat přísná bezpečnostní pravidla. [11]

2.5 Konstrukční prvky souřadnicových strojů s tomografickým senzorem

2.5.1 Konstrukční uspořádání

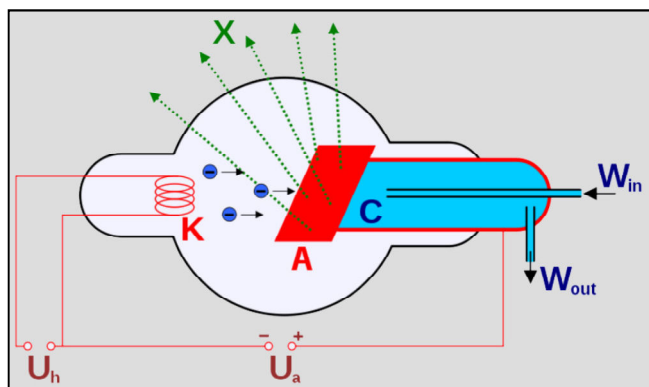
Dle požadavků měřicích úkolů a podle velikosti měřených vzorků se volí konstrukční uspořádání souřadnicových strojů s rentgenovou tomografií. Nejběžnější konstrukční uspořádání pro víceúčelové použití stroje vidíme na obrázku 6. Alternativně k tomuto uspořádání se dají zvolit konstrukce s vertikálně nastavitelným otočným stolem, které umožňují další speciální funkce jako je např. spirálová tomografie. [7]



Obr. 6 Konstrukce s křížově nastavitelným otočným stolem [7]

2.5.2 Rentgenová trubice

Základním konstrukčním prvkem měřicího stroje s rentgenovým tomografickým senzorem je zdroj rentgenového záření, který pracuje na principu vakuových rentgenových trubic [7].



Obr. 7 Vznik rentgenového záření v rentgenové trubici [12]

Vznik rentgenového záření v rentgenové trubici

Velmi vysoké stejnosměrné napětí U_a (rozdíl potenciálů napětí) se připojí mezi anodu a katodu trubice. Katoda se externím (topným) napětím U_h rozžhaví a tepelná energie se přenese na pohyblivé elektrony katody. Elektrony vystupující z rozžhavené katody jsou vysokým napětím U_a mezi anodou a

katodou urychlovány směrem k anodě. Proud energií nabitých elektronů, tzv. katodový paprsek, dopadá na anodu. [5]

Rentgenové záření vzniká tehdy, pokud elektrony dopadají s dostatečně vysokou energií na terčík anody, kde jsou náhle zabrzděny. Pro omezení teplotních vlivů je třeba rentgenovou trubici chladit. [5]

Záření vycházející z rentgenové trubice můžeme označit jako proud fotonů rozdílných frekvencí. Protože je energie fotonu úměrná jeho frekvenci, je možné měnit volbou elektrického napětí U_a na rentgenové trubici frekvenci a energii fotonů. [5]

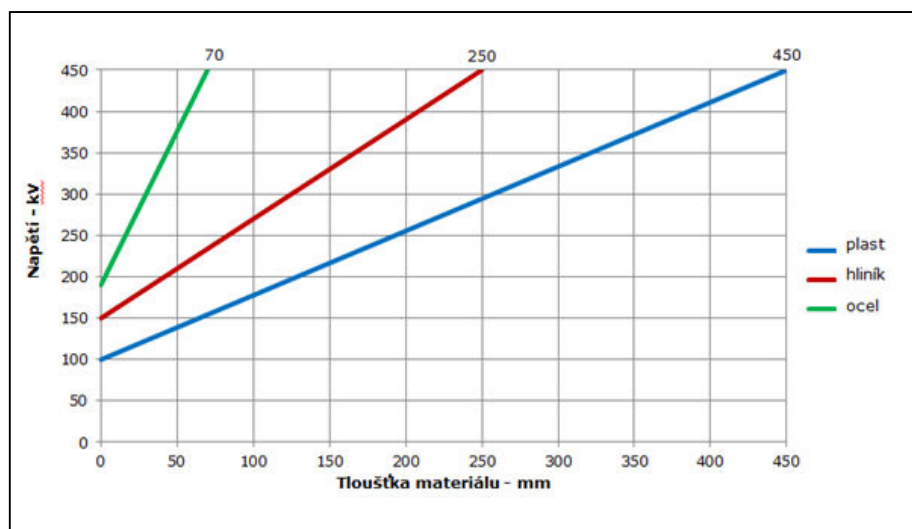
Změnou stejnosměrného napětí U_a mezi anodou a katodou jsme schopni regulovat pronikavost záření hmotou. Toto je důležité pro volbu rentgenové trubice. Určité materiály se dají optimálně prozářit a změřit pouze relativně nízkými energiemi záření a jiné materiály vyžadují vyšší energie záření. [5]

Tato napětí se v praxi průmyslové tomografie pohybují mezi 90 kV až 450 kV podle typu použité rentgenky. Zvyšováním energie fotonů dochází také ke zvětšování ohniska a tím i k rozostření obrazce. [7]

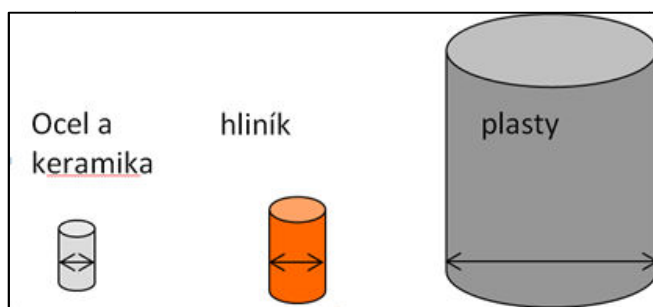
2.5.3 Potřeby napětí rentgenových zdrojů pro skenování různých materiálů

V níže uvedeném grafu jsou znázorněny potřeby napětí rentgenového zdroje pro prozařování různých materiálů s jejich tloušťkami. Údaje slouží pouze jako orientační hodnoty. Hloubka prozáření záleží na přesném složení materiálu a jeho geometrických rozměrech. [7]

Na obrázku 8 je porovnána hloubka prozáření různých materiálu při stejném napětí. Ze tří uvedených skupin materiálů lze nejhluběji prozářit plasty. U hliníku, keramiky a oceli je hloubka prozáření při stejném napětí mnohem menší než u plastů.



Graf 1 Křivky napětí pro různé materiály [14]

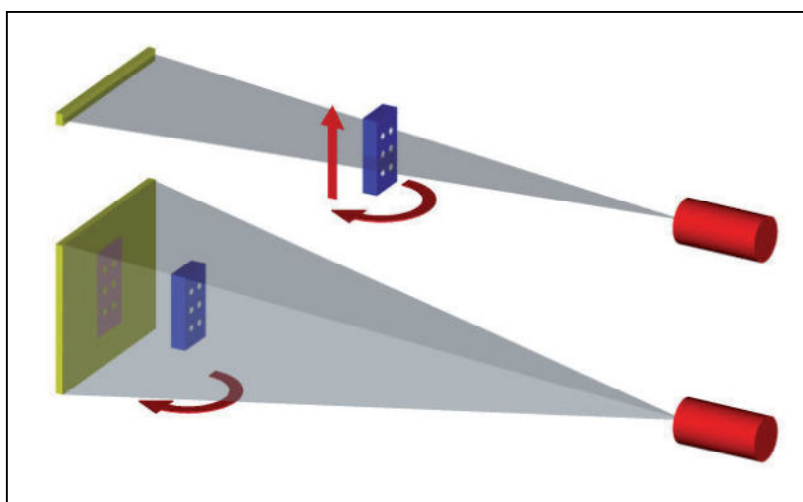


Obr. 8 Porovnání hloubky prozáření při stejném výkonu [7]

2.5.4 Rentgenový senzor

Rentgenové senzory existují v řádkovém a plošném provedení. Z geometrického hlediska by bylo nejvhodnější použití řádkových senzorů. Postupným nastavením zdroje záření a řádkového senzoru kolmo k ose otáčení můžeme dosáhnout toho, že prozařovaná řezná rovina leží vždy kolmo k ose otáčení. Nedostatkem je, že se každá řezná rovina musí ve všech úhlech nasnímat zvlášť. V porovnání vůči plošnému senzoru s tisíci řádky by vyšel 1000krát delší čas měření. Také je využit pouze zlomek energie z vyzářeného rentgenového kužele. Z tohoto důvodu jsou většinou nasazovány plošné senzory, které snímají najednou více řezných rovin měřeného objektu.

Kuželovitost laserového paprsku má za následek, že snímací rovina není všude kolmá k ose otáčení (je kolmá pouze ve střední části). Toto vede při matematické rekonstrukci objemových dat k měřicím odchylkám, které se musí korigovat dle požadavků na přesnost. [7]



Obr. 9 Řádkový a plošný senzor [10]

2.5.5 Otočná osa

V průmyslové tomografii se otáčí měřený objekt v proudu rentgenových paprsků. Při tomto druhu konstrukce jsou využitelné komponenty ze souřadnicové měřicí techniky. Vlastnosti otočné osy jako jsou: čelní, boční házení, stejnoměrný kruhový pohyb a přesnost rozdělení kruhu mají přímý vliv na výsledky měření. Do nepřesností měřicího stroje se nenačítají jen odchylky v ose otáčení, nýbrž také odchylky radiální, axiální a dopady nepřesností dalších komponentů stroje. Obzvláště u strojů s velkými průměry měřených objektů je třeba nasadit velmi přesné otočné osy. U strojů pro menší průměry měřených objektů je požadavek na přesnost menší. Je třeba udržet i přesnost při zatížení osy měřeným objektem a ustavovacím přípravkem pro měření. [4]

2.5.6 Lineární osa

Pro flexibilní měřicí stroje jsou navíc k otočné ose potřebné lineární osy pro flexibilní nastavení zdroje záření, plošného senzoru i vlastní otočné osy. Také zde dochází k využití komponentů z techniky souřadnicových měřicích strojů. U měřicích strojů s přesností několika mikronů se používá lineárních os s mechanickými ložisky. V případě vyšších přesností je třeba použít ložiska vzduchová. [7]

2.6 Metody optimalizace procesu

V následujících podkapitolách budou krátce vysvětleny metody, na základě jejichž poznatků byly provedeny optimalizace procesu v experimentální části.

2.6.1 Lean Six Sigma

Jedná se o filozofii zlepšování, která se orientuje zejména na prevenci neshod, zkrácení průběžné doby procesu a úsporu nákladů. Ve filozofii Lean Six Sigma je zdůrazněno zejména zlepšování rentability, jejímž bezprostředním produktem je zlepšení jakosti a hospodárnosti. [18]

2.6.2 SMED- Jednoduchá výměna nástroje v jedné minutě

Jedná se o odstranění úzkého místa zkrácením a přesunem interních časů výměny nástroje za klidu stroje do časů externích za chodu stroje. Jako pomůcky a podpůrné nástroje mohou být použity různé druhy analýz a zmapování problému jako: časový snímek dne, videozáznam, diagram činností apod.

SMED je rozdělen na tři etapy optimalizace:

1. rozdělení činností na externí a interní,
2. přesun činností z interních do externích,
3. zkrácení doby interních a externích činností. [16]

2.6.3 Metoda 5S

5S označuje pět základních principů, jak dosáhnout přehledného, organizovaného a trvale čistého pracoviště. Pracovníci dodržují stanovený systém pořádku. Cílem této metody je odstranění hledání nástrojů a materiálu, snížení počtu chyb lepším uspořádáním, dosažení lepšího chování pracovníků, zrychlení reakcí na podmínky a zaujetí zákazníka pořádkem. [16]

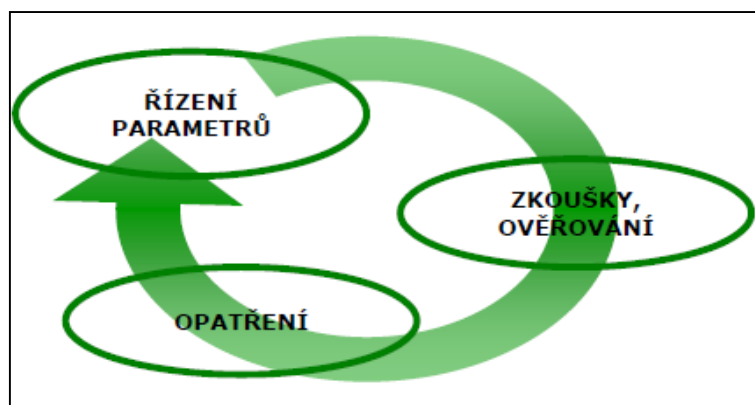
2.7 Systém řízení kvality ve firmě Škoda Auto a. s.

Systém řízení kvality (QMS) dle ISO 9001 je jednou z podmínek pro udělení typového schválení vozu, které vyžaduje legislativa EU a většina dalších trhů, kam jsou vozy dodávány. Tento systém zaručuje, že vyráběné vozy odpovídají tomu vozu, který byl předložen k typovému schválení. Bez typového schválení a bez platného certifikátu QMS se nemohou vyráběné vozy prodávat. Správné fungování QMS je ověřováno prostřednictvím interních a externích auditů kvality. [17]

2.7.1 Kvalita výroby vozů

Kvalita výroby vozů je součástí QMS a je rozdělena na jednotlivé závody. Zajišťuje úroveň kvality v rozhodujících místech výrobních provozů v jednotlivých závodech s cílem získání informací pro integrované řízení kvality. Filtruje a odhaluje nekvalitní výrobky jak v sériové výrobě tak při zavádění nových modelů. Uplatňuje tzv. spirálu kvality. Na základě výsledků z měření se provádějí kvalitativní smyčky až do odstranění závady.

Spirála kvality znázorňuje cyklické zvyšování kvality výrobku ověřováním jednotlivých stavů. Tento systém se uplatňuje jak v sériové výrobě tak při náběhu nových modelů. [17]



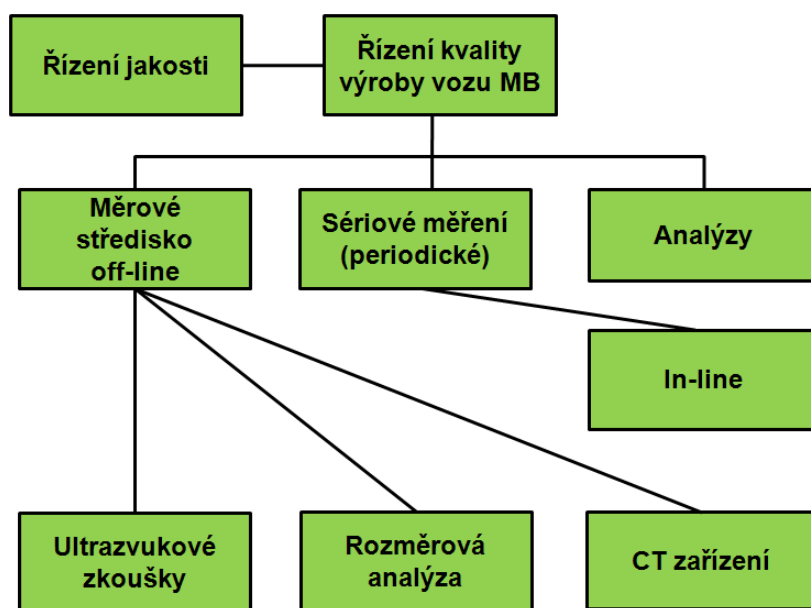
Obr. 10 Spirála kvality [17]

2.7.2 Počítačový tomograf ve firmě Škoda Auto a.s.

Z důvodů zvyšování kvality kontrolních činností bylo v roce 2012 zakoupeno firmou Škoda Auto a.s. zařízení počítačové tomografie (CT zařízení) pro kontrolu kvalitativních nedostatků.

CT zařízení je umístěno v závodě Mladá Boleslav v oddělení kvality výroby vozů Mladá Boleslav. Zařízení se nalézá v hale měřicího centra, kde jsou umístěny i další, převážně souřadnicové měřicí stroje, které se zabývají offline měřením, tzn. mimo výrobní linku. Pro zajištění optimálních podmínek měření je hala klimatizovaná. Je zde udržována teplota 20°C a prostředí bez prachu a vibrací.

Na níže uvedeném obrázku 11 vidíme napojení CT zařízení v organizační struktuře firmy Škoda. Je zde znázorněna pouze úzká část oblasti řízení kvality výroby vozu v Mladé Boleslavi. S touto oblastí jsou však propojeny i další oblasti řízení výroby vozů v Kvasinách a výroba agregátů ve Vrchlabí. Všechny tyto oblasti a pod ně spadající oddělení mohou využívat služeb rentgenového tomografu. [17]



Obr. 11 Umístění CT zařízení v konceptu kvality [17]

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Tato část práce se zabývá zvýšením efektivity procesu měření na pracovišti měřicího zařízení, konkrétně počítačového tomografu Tomoscope HV Compact 225 kV od firmy Werth (dále jen CT zařízení). Toto měřicí zařízení představuje stěžejní kontrolní prostředek pro zjišťování vnitřních vad výrobních součástí.

V rámci zlepšování procesu a vzhledem k plánované zvýšené poptávce po měření při náběhu nových modelů je potřeba pracoviště analyzovat a optimalizovat. Cílem je zvýšení využití měřicího zařízení a zkrácení průběžné doby měření.

3.1 Návrh metodiky pro optimalizaci kontrolních činností na CT zařízení

Měřicí CT zařízení bylo pořízeno do firmy Škoda Auto a.s. na konci roku 2012. Během tříměsíční náběhové fáze probíhala intenzivní školení obslužného personálu.

Po náběhové fázi se začalo na CT zařízení měřit v jednosměnném provozu. Teoretický fond stroje 24 hodin není využíván. Na CT zařízení probíhá skenování vzorku a přepočítání tomografických dat v automatickém chodu stroje. Během automatického chodu stroje vyhodnocuje obsluha předchozí vzorek na externí grafické stanici a provádí další činnosti. Časové údaje a druh provedených měření zaznamenává obsluha do knihy zakázek (viz. tab. 3.1).

Tab. 3.1 Výtažek z knihy zakázek [13]

Číslo zakázky	Název dílu	Číslo dílu	Počet dílů	Skenování [hod]	Hodnocení [hod]	Poznámky
2.5.2013 /1	brzdové obložení	1J0 615 115B	2	2	1,5	porovnání
2.5.2013 /2	chladič oleje	03F 117 201A	1	3,5	1	kontrola vnitřních částí
3.5.2013 /3	brzdové obložení	1K0 698 151F	2	2	1,5	porovnání

V prvním kroku návrhu metodiky optimalizací byla provedena statistická analýza dob skenování a vyhodnocení, které byly zaznamenány obsluhou u 350 naskenovaných vzorků (viz. příloha 1). U těchto vzorků nejsou známy interní časy, ani to, zda stroj běžel bez poruch. Ze zjištěných hodnot byla vypočítána variabilita procesu skenování a vyhodnocení.

Pro zjištění variability potřebujeme vypočítat vážený průměr a směrodatnou odchylku zkoumaných veličin [18]. Vypočítané statistické veličiny ze 350 změřených vzorků jsou uvedeny v níže uvedené tabulce 3.2.

Vážený průměr (střední hodnota):

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i \cdot f_i}{n} \quad (1)$$

Směrodatná odchylka:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

Variační koeficient

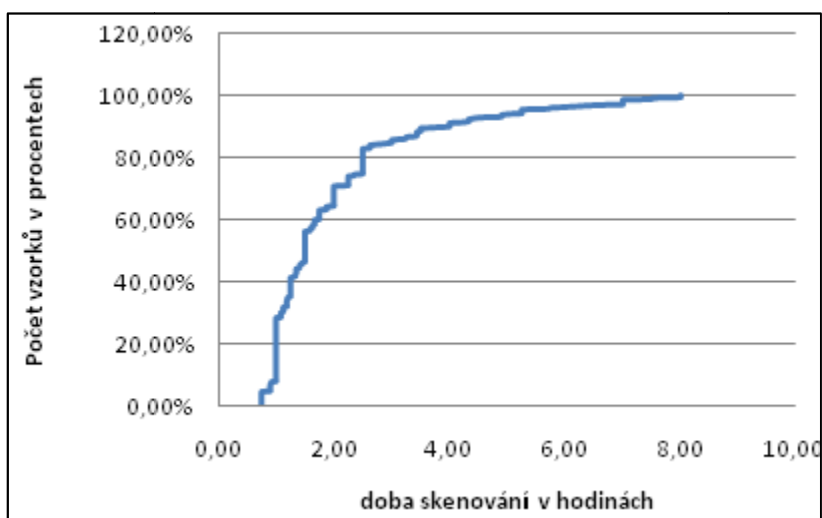
$$V_x = \frac{s}{\bar{x}} \quad (3)$$

Tab. 3.2 Statistické veličiny 350 změřených součástí

statistické veličiny	skenování	vyhodnocení
\bar{x} [hod]	2,00	1,23
s[hod]	1,46	0,68
V_x	0,73	0,55
V_x [%]	73	55

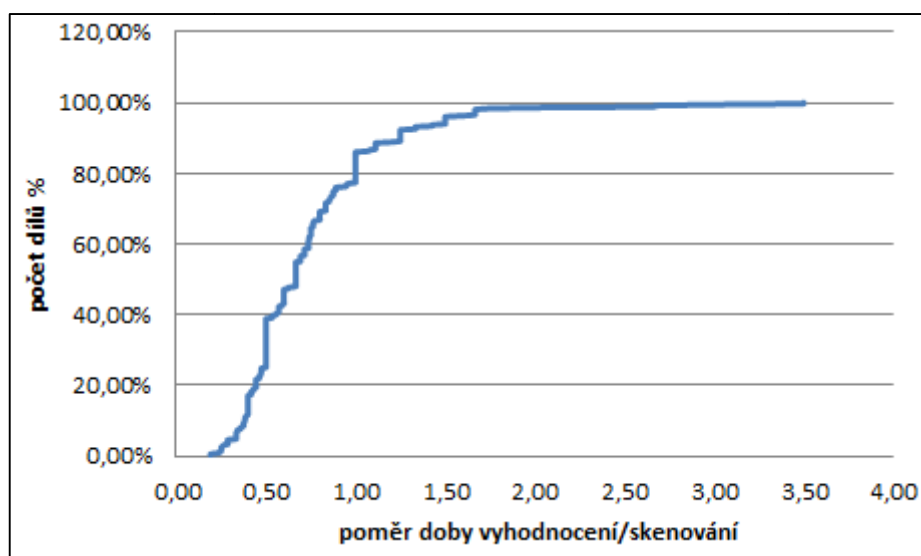
Je-li variační koeficient $> 50\%$ víme z empirických zkušeností, že se jedná o proces s vysokou variabilitou. [18]

Jako jeden z dalších výchozích bodů pro možné optimalizace byly použity výsledky z analýzy rozložení 350 vzorků v procentech podle doby skenování (viz. příloha 1). Dle níže uvedeného grafu se u 80% měřených vzorků pohybovala doba skenování od 45 minut do 2,5 hodin (viz také kapitola 3.2.5).



Graf 2 Bodový diagram rozložení 350 vzorků podle doby skenování

Dále byl prověřen poměr doby vyhodnocení a skenování opět na stejném vzorku 350 součástí, protože proces automatického skenování a vyhodnocování pracovníkem na externí grafické stanici mohou probíhat současně. Pouze v 13% případů byla doba vyhodnocení delší než doba skenování (viz příloha 1).



Graf 3 Rozložení poměru doby vyhodnocení a skenování

Z výše uvedeného grafu je viditelné, že jeden pracovník dokáže obsluhovat CT zařízení a grafickou stanici.

Za účelem dalšího zjištění informací pro provedení potřebných analýz bylo použito 27 po sobě jdoucích bezporuchových pracovních dnů z knihy zakázek (viz. příloha 2), při kterých byly změřeny interní časy u 54 v tomto období měřených vzorků. Suma interní časů v tabulce 3.3 jsou časy klidu stroje, ve kterých není obsažen čas náběhu stroje na začátku směny. Důležitým výstupem těchto záznamů je počet změřených dílů, počet směn, celkový počet hodin skenování, vyhodnocení a interních časů. Interní časy byly změřeny digitálními stopkami s nejistotou měření 0,3 sekundy (výsledky viz. tab. 3.3). Všechny časy jsou uvedeny v hodinách.

Tab. 3.3 Výstup z 27-denního sledování

Počet směn (n_s)	Počet dílů (n)	Počet skenovaných hodin (Σt_s)	Počet hodin vyhodnocení (Σt_v)	Interní časy (Σt_i)
27	54	122	71	82

Z těchto hodnot můžeme vypočítat vstupní hodnoty pro analýzy podle metod Lean Six Sigma a SMED. U analýzy Lean Six Sigma se jedná o propustnost procesu a čas přidávající hodnotu. Dalším potřebným vstupem do analýzy je rozpracovanost. Ta byla zjištěna na základě namátkových kontrol pracoviště, při kterých byl zaznamenán počet rozpracovaných zakázek v procesu měření. Z uvedených vstupních hodnot může být vypočítána průběžná doba zakázky a účinnost cyklu.

Z hodnot z Tab. 3.3 bylo dále vypočítáno průměrné využití stroje v jedné směně 56% procent. Ve výpočtu je třeba zohlednit, že CT zařízení může pracovat i přes přestávky pracovníka. Pokud stroj skenuje na konci směny, tak ho pracovník nevypíná, nýbrž je skenování vzorku dokončeno automaticky po konci pracovní doby pracovníka a stroj se automaticky vypne. Po zapnutí na začátku směny stroj 30 minut nabíhá. Pokud CT zařízení pracuje bez poruch, jsou jedinými důvody klidu stroje výměna vzorku s ustavovacím přípravkem a náběh stroje na začátku směny. Z tohoto důvodu byly použity následující vzorce:

$$T_{IC1} = \frac{\sum t_I}{n_s} + T_n \quad (4)$$

T_{IC1} doba stání stroje ve směně

t_I změřený interní čas pro výměnu vzorku

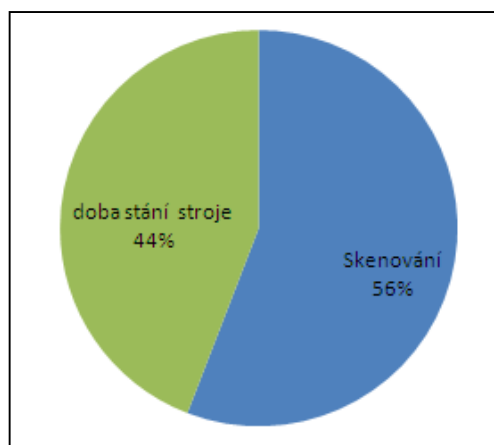
T_n doba náběhu CT zařízení na začátku směny

n_s počet směn

$$T_s = T - T_{IC1} \quad (5)$$

T_s průměrná doba skenování ve směně (využití stroje)

T počet hodin ve směně



Graf 4 Poměr využití a stání stroje ve směně

Z grafu je zřejmé, že základní problém představuje doba stání stroje, která je podmíněna činnostmi prováděnými právě za klidu stroje. Činnosti pracovníka prováděné za klidu stroje se nazývají interními činnostmi. Pro zmapování a optimalizaci, tj. zkrácení interních činností, bylo postupováno dle metody Single Minute Exchange of Die (dále jen SMED). Teoretické postupy této metody naleznete v kapitole 2.6.2. Vstupní informací pro metodu SMED bylo sledování činností obsluhy během upínacího procesu 54 měřených vzorků během 27 denního sledování.

Optimalizací metodou SMED vznikne prostor pro navýšení doby skenování. Toto navýšení znamená možnost odpracovat více měřených součástí za směnu a tím nárůst externích činností pracovníka. Aby pracovník stihnul obsluhovat současně CT zařízení a grafickou stanici, je třeba optimalizovat organizaci pracoviště a činnosti pracovníka. Tyto optimalizace byly provedeny s ohledem na metodu 5S. V kapitole 3.2.7 je upozorněno na možnost optimalizace doby skenování na opakujících se součástech při hledání stejné závady. Stav po optimalizaci byl ověřen sledováním a kontrolou knihy zakázek během 15 dnů, tj. 30 směn (viz. příloha 3). Na závěr byly provedené optimalizace finančně vyhodnoceny.

3.1.1 Měřicí stroj Tomoscope HV Compact od firmy Werth

Jedná se o souřadnicový měřicí stroj s rentgenovým tomografickým senzorem od firmy Werth. Parametry CT zařízení s uzavřenou rentgenovou trubicí 225 kV jsou [14]:

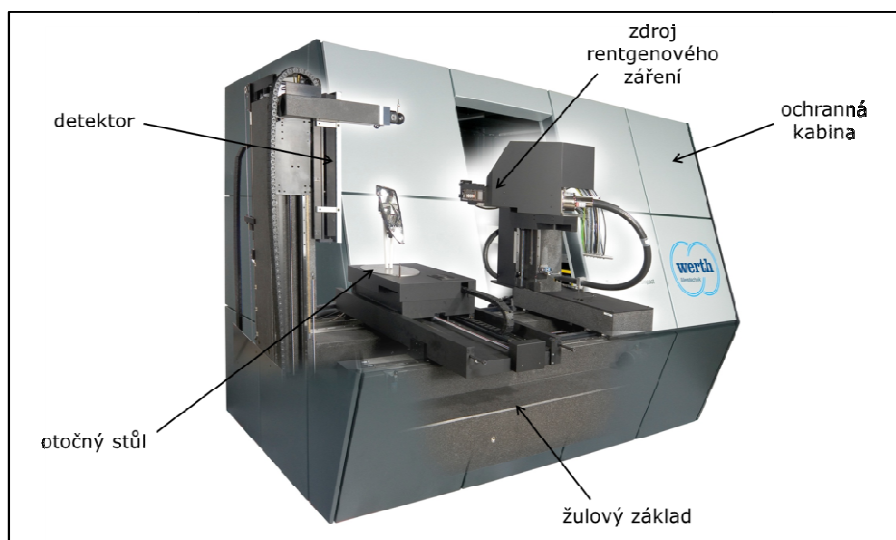
výkon:	2,4 kW
napětí:	60 – 225 kV
velikost detektoru:	200 x 200 mm
rozlišení detektoru:	1024 x 1024 bodů
max. rozměry skenovaných vzorků:	327 x 517 mm
přesnost:	$MPE_{E1}: (2,5+L/120)\mu m$
pro optické a dotykové senzory:	$MPE_{E2}: (2,9+L/100) \mu m$
pro kombinaci:	$MPE_E: (4,5+L/75) \mu m$
pro CT senzor	$MPE_p: 4,5 \mu m$

Konstrukce a součásti měřicího stroje

Rozměry CT zařízení Werth Tomoscope HV Compact 225 kV jsou 2570 x 1880 x 1823 mm (délka x výška x šířka). Celý prostor oblasti skenování je umístěn v ochranné skříni odolné proti rentgenovému záření. Skříň je vyrobena z oceli s olověným stíněním. Vstup do prostoru skenování je umožněn elektrickými posuvnými dveřmi s olovnatým sklem. Vedle dveří se nalézá světelná signalizace.

Za posuvnými dveřmi uvnitř zařízení se nalézá základová deska a vertikální sloupy, které jsou vyrobeny ze žuly. Na sloupu na levé straně je umístěno rameno měřicího stroje a rentgenový detektor. Rentgenový detektor se může pohybovat ve vertikální ose. Na pravé straně se nalézá rentgenový zdroj, který se také může pohybovat ve vertikální ose. Žulový materiál zajišťuje dostatečnou stabilitu stroje pro vysokou přesnost mechanických pojezdů. Pohyb

lineárních os je zajištěn kuličkovým pohonem. Na křížovém uspořádání lineárních os (osa Y a Z) je umístěna pojízdná rotační osa, na které je připevněn otočný talíř s rastrem otvorů pro upevnění zkoušeného vzorku. Tato osa není vybavena možností vertikálního pohybu vzorku.



Obr. 12 Konstrukce CT zařízení [14]

CT zařízení je vybaveno vlastním počítačem, který zpracovává data ze souřadnicového, nebo tomografického měření. Data naskenovaného nebo změřeného vzorku jsou uložena do počítače ve formátu *rek.file. Tento formát můžeme importovat do měřicího softwaru na externí grafické stanici. [14]

3.1.2 Postup měření na CT stanici

V této kapitole bude pro lepší názornost činností na pracovišti kontrolních činností blíže popsán proces měření na CT zařízení. Proces měření se dá rozdělit do následujících třech fází:

1. fáze přípravy vzorku,
2. fáze skenování,
3. fáze vyhodnocení.

1. Fáze přípravy vzorku

Na vzorek nejsou kladeny zvláštní nároky. Je vhodné ho očistit od nežádoucích materiálů, které nejsou předmětem měření nebo analýzy. Dále je potřeba umístit vzorek na otočný talíř s rastrem závitových otvorů. Vzorek je umisťován pomocí jednoduchých upínacích přípravků. Vzorek by měl být umístěn mezi rentgenovou trubicí a detektorem tak, aby paprsky procházely co nejtenčími vrstvami materiálu.

2. Fáze skenování

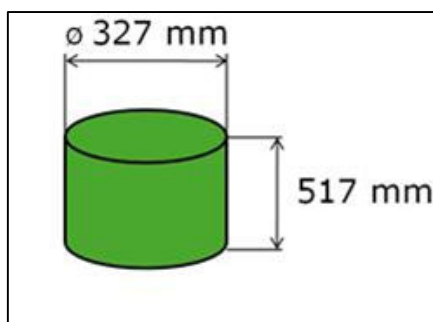
Po zapnutí na začátku směny stroj přibližně 30 minut nabíhá. Poté je připraven k provozu. Při výměně vzorku je třeba nastavit parametry stroje. Pokud se neskenuje více stejných vzorků za sebou ve stejném upínacím přípravku, je potřeba pro každý vzorek nastavit parametry podle druhu prozařovaného materiálu a velikosti vzorku.

3. Fáze vyhodnocení dat

Vyhodnocení dat probíhá na separátní grafické stanici v měřicím softwaru VG studio max. 2.2, který se příliš neliší od běžného softwaru souřadnicového měřicího stroje. Grafická stanice je nezávislá na funkcích stroje a vyhodnocení může probíhat souběžně se skenováním.

3.1.3 Měřené součásti

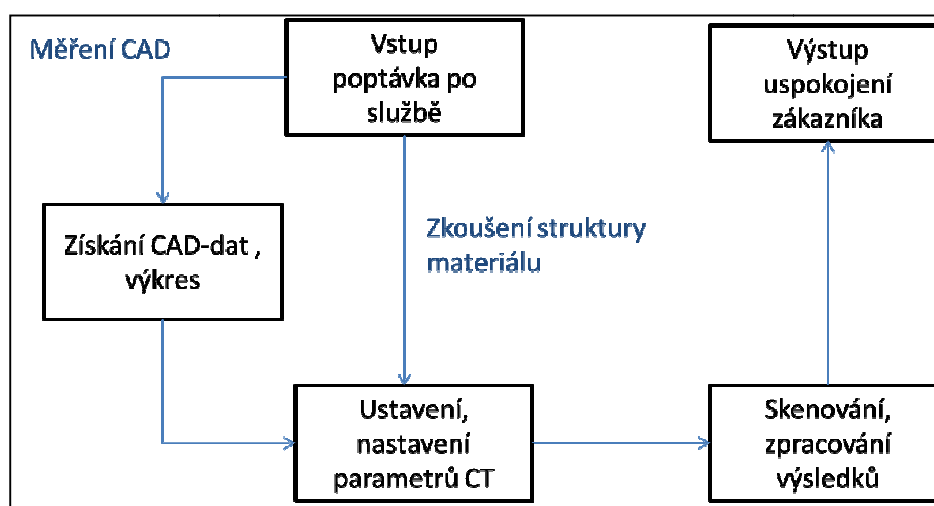
Na měřicím stroji probíhá měření součástí určených pro automobilový průmysl, které jsou vyrobeny z různých materiálů. Měřicí stroj dokáže změřit součásti různých tvarů do maximálních rozměrů viz. Obr. 13.



Obr. 13 Maximální prostor pro upínání součástí

3.1.4 Současný stav procesu na pracovišti

Zakázky na měření jsou zadávány jednotlivými odděleními firmy Škoda Auto a.s. Na pracovišti zatím neprobíhá žádné pravidelné sériové nebo periodické měření. Za současného stavu je CT zařízení schopno odpracovat průměrně dvě součásti za směnu a stroj pracuje v jednosměnném provozu. Pracoviště je možné přirovnat ke kusové výrobě s vysokou variabilitou vstupů. Jednotlivé zakázky na měření se zapisují do knihy zakázek. Na pracovišti byla zjištěna průměrná rozpracovanost 15 vzorků.



Obr. 14 Znáznornění procesu měření

Stav stroje a upínací techniky

CT zařízení bylo dodáno bez upínacího systému pouze s upínacím talířem vybaveným děrovou deskou s ustavovacími otvory. Pro upínání byly výrobcem zařízení doporučeny jednoduché přípravky z polystyrénu a umělé hmoty, které si provozovatel bude realizovat sám ve vlastní režii. Jmenované hmoty jsou se svými vlastnostmi lehce tvarovatelné a mají nízkou absorpci rentgenového záření. Pro každou součást bude obsluhou nebo externím pracovištěm vyroben jednoduchý ustavovací přípravek z těchto materiálů. Přípravky mohou být použity jednou nebo vícekrát, ale jejich životnost není dlouhá. Pro hliníkové díly může být použita umělá hmota, ale výroba držáků je dosti náročná (frézování apod.). Při větším sortimentu součástí je náročné přípravky skladovat.

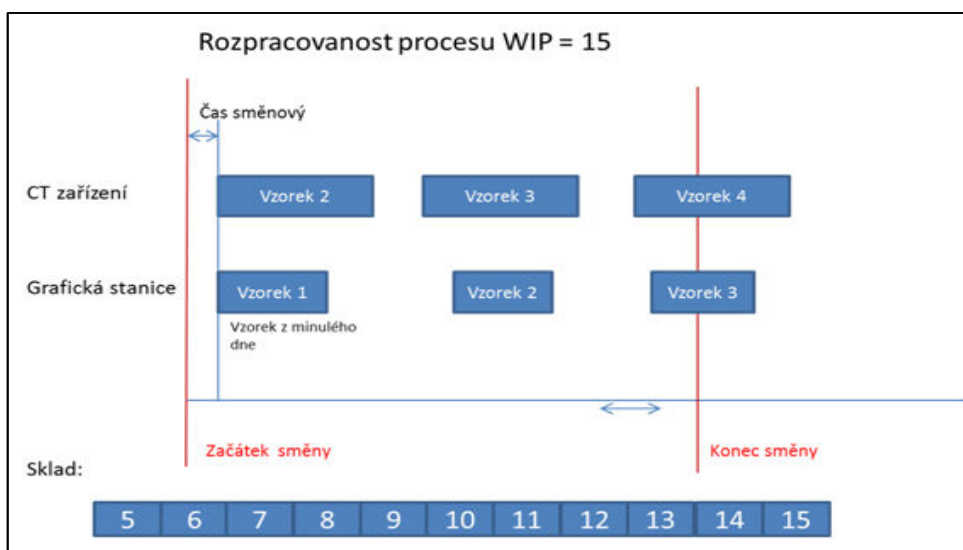
Činnosti obsluhy zařízení:

- zapnutí stroje na začátku směny,
- převzetí interní objednávky ŠKODA AUTO a. s. + ústní specifikace zakázky, druhu vyhodnocení atd.,
- příprava vzorku (např. očištění),
- obstarání nebo zajištění výroby vhodného ustavovacího přípravku,
- kompletace ustavovacího přípravku se vzorkem,
- ustavení přípravku se vzorkem do stroje
- nastavení parametrů stroje,
- zapnutí skenování součásti (skenování probíhá automaticky),
- vyhodnocení předchozí součásti na grafické stanici během doby skenování,
- vynětí součásti po ukončení skenování,
- uložení přípravku,
- přiřazení měřicího protokolu k součásti a založení do skladu.

3.2 Realizace návrhu metodiky

3.2.1 Analýza stávajícího stavu podle metody Lean Six Sigma.

Při zajišťování kvality výrobního procesu je jedním z nejdůležitějších požadavků na měřicí proces co nejkratší doba dodání výsledků měření k zákazníkovi (tzv. průběžná doba). Poměr doby přinášející přidanou hodnotu zakázky a průběžné doby se označuje jako účinnost cyklu. V našem případě je doba přinášející přidanou hodnotu zakázky doba skenování a doba vyhodnocení. Skenování je prováděno na CT zařízení v automatickém cyklu stroje a vyhodnocení na grafické stanici pracovníkem. Dobu skenování a vyhodnocení pracovník zaznamenává do knihy zakázek. Grafickou stanicí i CT zařízení obsluhuje jeden pracovník. Všechny činnosti, které nepřinášejí přidanou hodnotu měření, je třeba eliminovat nebo zkrátit na dobu nezbytně nutnou pro provedení měřicího procesu.



Obr. 15 Rozpracovanost na pracovišti

Propustnost zařízení (viz Tab. 3.3):

$$P = \frac{n}{n_s} \quad (6)$$

P propustnost procesu

n počet změřených součástí

n_s počet směn

Vypočítaná propustnost procesu před optimalizací podle vzorce (6) jsou dvě součásti za směnu.

Průběžná doba (PLT):

$$PLT = \frac{WIP}{P} \quad (7)$$

PLT průběžná doba procesu

WIP rozpracované jednotky

$$PLT = \frac{15}{2} = 7,5 \text{ dne} = 180 \text{ hod}$$

Účinnost cyklu (PCE):

$$PCE = \frac{VA \text{ TIME}}{PLT} \quad (8)$$

VA Time čas přidávající hodnotu

PCE účinnost cyklu procesu

$$VA \text{ TIME} = t_{sd} + t_{vd} \quad (9)$$

t_{sd} průměrná doba skenování na díl

t_{vd} průměrná doba vyhodnocení na díl

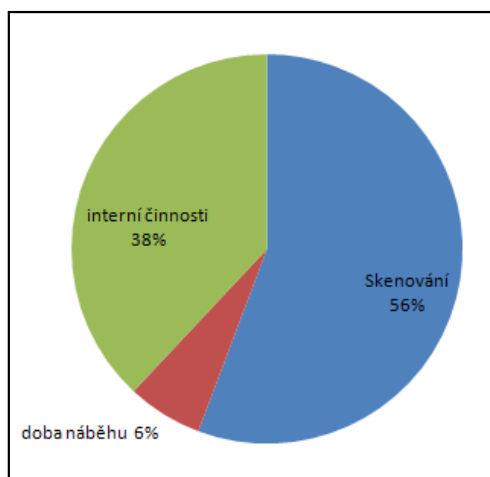
$$VA \text{ TIME} = 2,2 + 1,3 = 3,42$$

$$PCE = \frac{3,42}{180} = 0,19 = 2 \%$$

Pro zvýšení propustnosti procesu je třeba snížit průběžnou dobu zpracování vzorku a mimo jiné zavést dvousměnný provoz.

3.2.2 Optimalizace interních činností

Optimalizace interních časů je zaměřena na využití stroje. Cílem je zkrácení doby, kdy stroj během směny stojí a nevytváří přidanou hodnotu skenováním vzorku. Pokud CT zařízení pracuje bez poruch, jsou jediné důvody klidu stroje výměna vzorku s ustavovacím přípravkem a náběh stroje. Tuto výměnu provádí ručně obsluha stroje. Při optimalizaci budeme postupovat podle metody SMED. Podle výsledků z 27 denního sledování (viz. Tab. 3.3) a podle vzorců (4) a (5) vypadá rozložení časů ve směně následovně: 56% z doby směny stroj skenuje, 38% zabírají interní činnosti a 6% doby směny tvoří doba náběhu stroje na začátku směny (viz. graf 5).



Graf 5 Rozložení časů ve směně

Vypočítaná průchodnost zařízení jsou dvě součásti za směnu a průměrná doba interních činností na jeden skenovaný vzorek je dle vzorce (10) 1,5 hodiny.

$$t_{ID} = \frac{\sum t_i}{n} \quad (10)$$

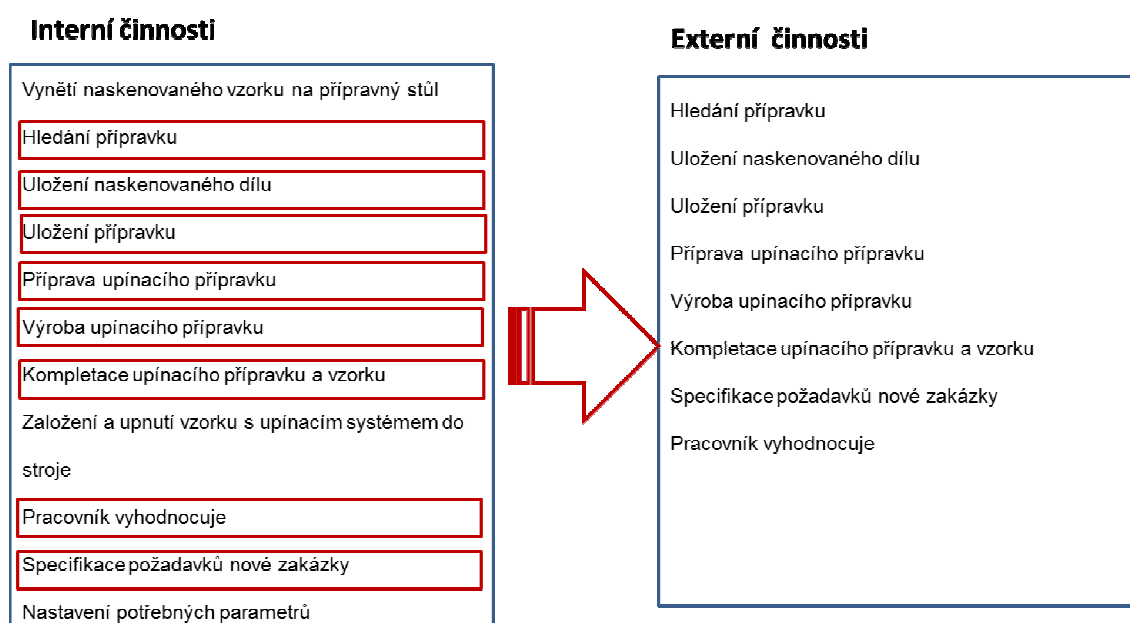
t_{ID} doba interních činností / vzorek

n počet sledovaných součástí

t_i interní čas jednoho vzorku

Jak již uvedeno, byla během 27 denního sledování provedena výběrová chronometráž interních časů u 54 vzorků.

V levé části Obr. 16 jsou uvedené všechny činnosti pracovníka prováděné za klidu stroje. V rámci optimalizace podle metody SMED byly všechny červeně zářmované činnosti přesunuty do doby externích činností za chodu stroje.



Obr. 16 Přesun interních činností do externích

Pro umožnění přesunu interních činností do externích je třeba opatřit přípravný stůl a umístit jej přímo k zařízení. Na tento přípravný stůl bude za klidu stroje odložen vyňatý vzorek s upínacím systémem a za chodu stroje zde bude připraven nový vzorek s upínacím systémem pro založení.

Sled interních činností po optimalizaci:

1. vynětí naskenovaného vzorku ze stroje a odložení na přípravný stůl,
2. založení na přípravném stole připraveného vzorku s upínacím systémem do stroje,
3. nastavení parametrů stroje a zapnutí automatického chodu stroje.

Při upínacích činnostech docházelo i nadále k následujícím problémům:

- upínání pomocí plastových podpěr a polystyrénů je náročné,
- z důvodu náročnosti upínání nelze některé díly skenovat vůbec (zkroucení dílu v držáku, pružení apod.),
- problémy s upevněním polystyrenového či plastového upínacího přípravku na otočný talíř,
- při slepování ustavovacích přípravků z polystyrénu pro ustavení dílů se lepidlo při delším skladování nebo skenování rozlepuje,
- výroba plastových držáků pro skenování hliníkových vzorků je náročná, obsluha by ji při větším množství požadavků na skenování nedokázala zajistit a skladovat.
- u 3 % vzorků došlo k pohybu vzorku a vzorek musel být skenován znovu.

Na základě analýzy interních činností, pro omezení výše jmenovaných problémů a za cílem zvýšení procesní jistoty bylo rozhodnuto opatřit vhodný upínací systém. Nový upínací systém má zjednodušit a zrychlit upínání do stroje. Tím se bude moci zvýšit doba využití stroje na skenování.

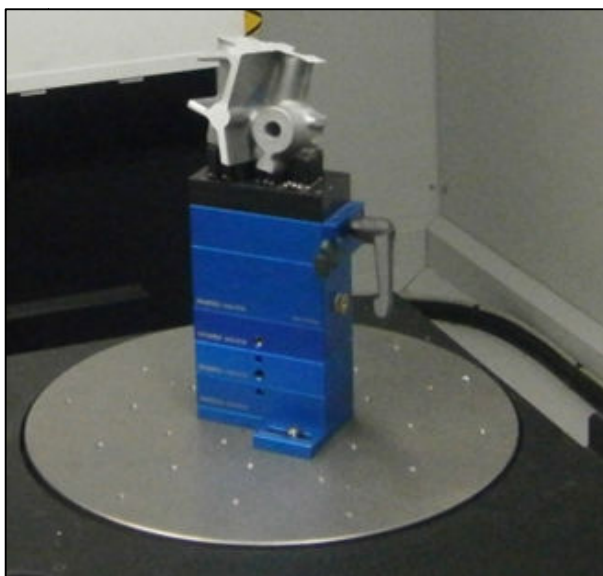
Zavedení nového upínacího systému od firmy Matrix

Vzhledem k tomu, že na zařízení neprobíhá sériové ani periodické měření, je třeba pořídit flexibilní upínací systém, který dokáže upínat variabilní součásti.

Po rešerších bylo zjištěno, že speciálně pro průmyslovou rentgenovou tomografii neexistuje na trhu univerzální ustavovací systém. Proto bylo nutné využít zkušeností z ustavování v souřadnicové měřicí technice, kde jsou často využívány systémy s upínáním na tvar měřené součásti. Většina těchto systémů pracuje s ocelovými nebo hliníkovými upínkami a tvarovými podpěrami. Pro rentgenovou tomografii nejsou tyto systémy vhodné, protože např. hliníková měřená součást musí být upnuta do plastu, aby upínka nestínila.

Na základě průzkumu trhu byl zakoupen upínací systém od firmy Matrix. Systém Matrix upíná na tvar součásti pomocí odpérováných čepů. V uvolněném stavu kladou čepy lehký odpor. Upínaná součást je zatlačena na kolíky, které kopírují její tvar. Po vtlačení součásti k základové desce se čepy upínací pákou zafixují. Čepy jsou standardně vyrobeny z oceli. Pro účely rentgenové tomografie ve firmě Škoda Auto dodala firma Matrix upínací systém s plastovými kolíky.

Pro plastové součásti byly vyrobeny jednoduché přípravky, které umožňují vyklínování polystyrenovými klíny a které mohou být ustaveny na podpěře upínacího systému Matrix a být použity vícekrát. [15]



Obr. 17 Ukázka upnutí součásti do upínacího systému [13]

Celá sestava na obrázku může být připravena na přípravný stůl za chodu stroje a za klidu stroje vložena a šrouby našroubována do stroje.

3.2.3 Optimalizace externích činností

Přesunem interních činností do externích činností a zakoupením upínacího systému byla zkrácena doba prostojů stroje a zvýšila se propustnost zařízení. Tím narostly externí činnosti. Aby jeden pracovník dokázal provádět vyhodnocení a obsluhu stroje zároveň, je třeba optimalizovat i externí činnosti pracovníka. Situace před optimalizací je viditelná z následujícího grafu vytížení pracovníka před optimalizací.

Následující graf 6 časů pracovníka v hodinách před optimalizací je vytvořen z následujících vztahů:

$$F_{prac} = T - T_{c1} - T_{c2} \quad (11)$$

F_{prac} fond pracovníka ve směně

T doba směny

T_{c1} čas směnový

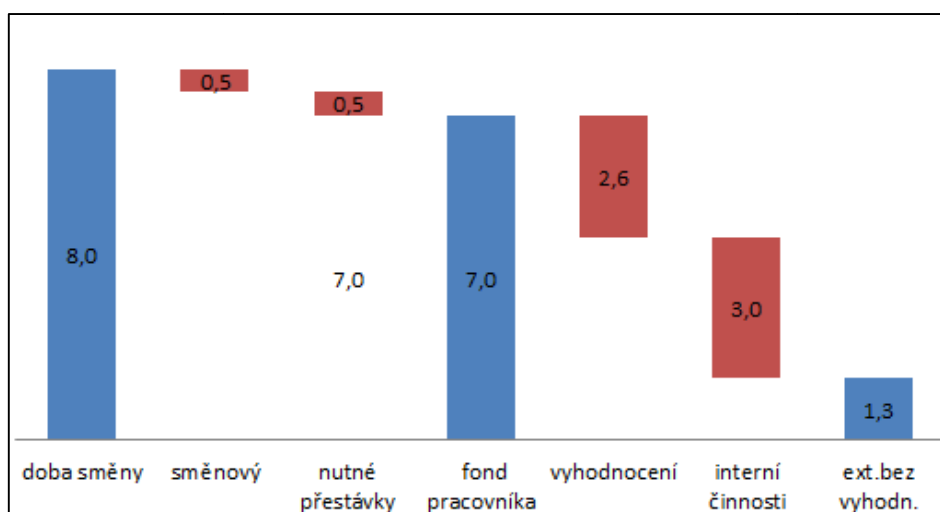
T_{c2} čas obecně nutných přestávek

$$T_{ex} = \frac{\sum F_{prac} - \sum t_v - \sum t_i}{n_s} \quad (12)$$

T_{ex} externí časy bez vyhodnocení v jedné směně

t_v změřená doba vyhodnocení vzorku

t_i změřený interní čas vzorku



Graf 6 Vytížení pracovníka před optimalizací interních činností

Na pracovišti bylo provedeno namátkové sledování pracovních činností pracovníka za chodu stroje s následujícími zjištěnými nedostatky:

- definice a příjem zakázek od zákazníka je zdlouhavý a probíhá ústní formou,
- pracovník skladuje dohromady čekající zakázky na skenování a hotové zakázky, což vede k nepřehlednosti a hledání,
- sklad upínacích přípravků je neuspořádaný.

Optimalizace externích činností pracovníka byla provedena na základě metody 5S.

1. Třídění a úklid

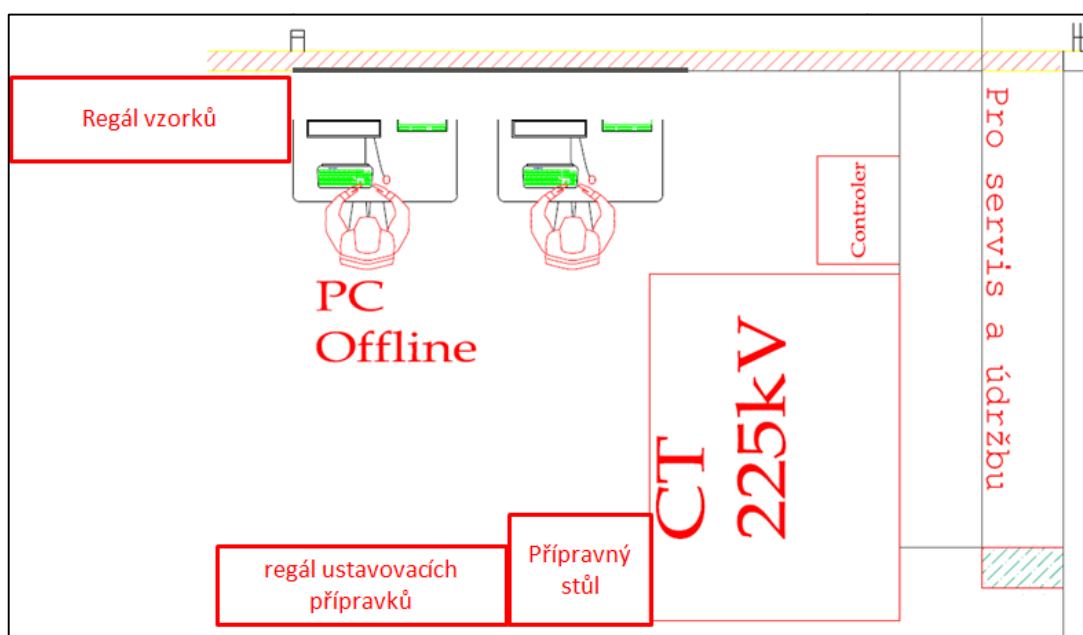
Byly odstraněny všechny zbytečné věci z pracoviště, které se nepoužívají (nepoužívané upínací přípravky atd.). Potřebný materiál byl řádně označen a roztříděn.

2. Rozmístění, pořádek

Byly zakoupeny regály pro uskladnění vzorků a ustavovacích přípravků, které byly přehledně nadepsány, aby se zamezilo hledání. Regály byly využity následovně:

- regál zakázek, kde jsou uskladněny zakázky určené ke skenování s vyplněným formulářem požadavků na měření,
- regál zakázek určených k vyhodnocení – označený regál naskenovaných vzorků s vyplněným formulářem požadavků na měření určených k vyhodnocení,
- regál s hotovými zakázkami s měřicím protokolem čekajících na vyzvednutí zákazníkem,
- regál vyrobených upínacích přípravků (polystyrenové a umělohmotné přípravky),
- regál na upínací systém Matrix.

Pracoviště bylo doplněno o přípravný stůl vzorků mezi CT zařízením a regálem upínacích přípravků pro přípravu a odložení vzorku.



Obr. 18 Layout pracoviště po optimalizaci

3. Postupy a čištění

Na konci každé směny byl zaveden pravidelný pětiminutový úklid pracoviště.

4. Pravidelnost a standardizace

Byl stanoven sled činností za automatického chodu stroje, který je třeba dodržovat:

- uložení vyřátého vzorku a požadavku na měření do regálu zakázek k vyhodnocení,
- uložení ustavovacího přípravku, nebo jeho opětovné využití,
- sestavení a příprava dalšího vzorku,
- příprava vzorku s upínacím přípravkem na přípravný stůl u CT zařízení,
- práce na vyhodnocení předchozího vzorku,
- založení protokolu o měření a vyhodnoceného vzorku do regálu hotových zakázek.
- příjem dalších zakázek.

Pro definici účelu měření byl zaveden standardní formulář „Požadavek na měření CT zařízení“ se všemi potřebnými údaji pro specifikaci zakázky (viz. příloha 4). Formulář vyplňuje zákazník a měl by ulehčit obsluze příjem zakázek.

5. Kontrola a disciplína

Každý týden je koordinátorem prováděna namátková kontrola pracoviště. Při této kontrole je sledována úroveň pořádku a dodržování sledu činností. S obsluhou jsou řešeny případné nedostatky.

3.2.4 Zavedení dvousměnného provozu

Po zavedení výše uvedených opatření byl zaveden dvousměnný provoz. Tímto krokem by mělo být docíleno optimálního využití stroje za udržení co nejnižších personálních nákladů, splnění návratnosti zařízení a naplnění požadavků zákazníka.

3.2.5 Možnost skenování součástí s dlouhou dobou skenování přes noc

Vzhledem k tomu, že na CT zařízení od firmy Werth dokáže pracovník během doby skenování vyhodnocovat výstup měření předchozího vzorku na jiném počítači, neměla by být automatická doba skenování ovlivněna vyhodnocením. Tzn., že stroj nesmí čekat na konec vyhodnocení.

Z knihy objednávek bylo zjištěno, že žádná součást nebyla skenována déle než 8 hodin. Pracovník je ze zkušenosti schopen rozpoznat podle tloušťky skenovaného materiálu a druhu měření přibližnou dobu skenování vzorku ($\pm 0,5$ hodiny). Při průměrném předpokládaném výkonu zařízení šest součástí za den po optimalizaci může být každá šestá součást s dlouhou dobou skenování skenována na konci odpolední směny v nočních hodinách v automatickém cyklu stroje. Z toho plyne, že počet zakázek s dobou skenování delších než tři hodiny by neměl přesáhnout hodnotu 16,6 % ze všech zakázek.

$$n_d = \frac{1}{P} * 100 \quad (13)$$

n_d max. počet součástí s dlouhou dobou skenování [%]

P propustnost zařízení za den

Ve sledovaném vzorku 350 součástí bylo dle grafu 2 zjištěno, že 16,6% součástí odpovídá době skenování nad 2,63 hodiny. Všechny součásti s dobou skenování nad 2,63 hodiny se mohou skenovat v noci. Doba skenování je v průměru dvakrát delší než doba vyhodnocení. Za podpory uvedených opatření

dokáže zkušený pracovník dosáhnout optimálního využití stroje a své pracovní doby.

3.2.6 Měřicí programy

Zatím na stroji neprobíhá žádné sériové měření. Dávky dílů kontrolovaných na stejnou závadu jsou malé. V případě vyšší sériovosti měření lze vytvořit automatické měřicí programy na měření a kontrolu závad u častěji skenovaných dílů podobně jako u souřadnicových měřicích strojů.

3.2.7 Optimalizace doby skenování

V návaznosti na vznik formuláře „Požadavek na měření CT zařízení“, ve kterém se vyplňuje periodičnost a počet součástí, se nabízí možnost redukce doby skenování a tím navýšení kapacity CT zařízení. V případě potřeby kontroly většího počtu vzorků na stejnou závadu, např. chybějící součást, se může obsluha stroje pokusit zkrátit čas skenování vzorku nastavením co nejkratší doby skenování pomocí změny parametrů. Provádění tohoto procesu je velmi závislé na zkušenostech obsluhy. Změnou parametrů skenování můžeme dosáhnout kratších časů skenování při obdobné rozpoznatelnosti závady.

4 Porovnávání a vyhodnocení

V této kapitole bude porovnán stav před a po optimalizaci. Fokus je kladen na stav průchodnosti zařízení související s organizací činností, vytížením stroje, pracovníka a se zavedením nového upínacího systému. Následně byl stav před a po optimalizaci finančně ohodnocen a výsledky byly porovnány.

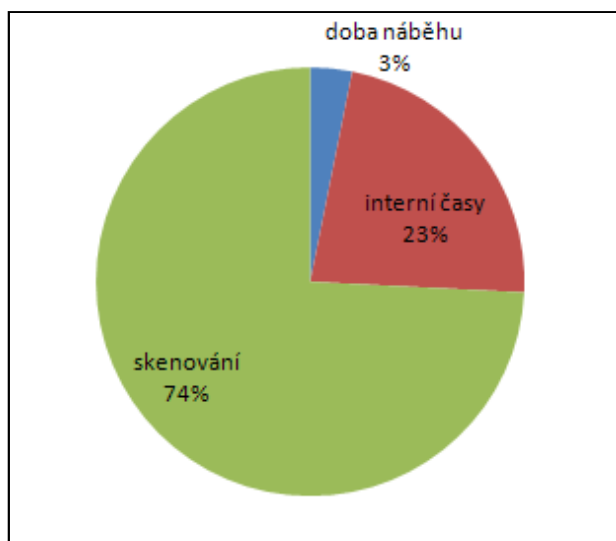
4.1 Zvýšení průchodnosti procesu

Po optimalizaci bylo provedeno další sledování během 30 směn a během tohoto sledování byla provedena chronometráž interních časů u 84 měřených součástí a kontrola záznamů v knize objednávek pro zjištění dob skenování a vyhodnocení. Podle tabulky Tab. 4.1 a vzorce (6) byla po optimalizaci zjištěna průměrná výkonnost pracoviště 5,6 zpracovaných součástí za den. To znamená 2,8 součásti za směnu oproti předchozím 2 součástem. Průchodnost procesu byla zvýšena o 30%. Všechny časy v Tab. 4.1 jsou uvedeny v hodinách.

Tab. 4.1 Výsledky sledování po optimalizaci

Počet směn (n_s)	Počet dílů (n)	Počet skenovaných hodin (Σt_s)	Počet hodin vyhodnocení (Σt_v)	Interní časy (Σt_i)
30	84	189	98	54

V níže uvedeném grafu vidíme vytížení stroje v jedné směně při dvousměnném provozu. Byl použit stejný způsob výpočtu jako v kapitole 3.2.2. Čas náběhu stroje v jedné směně je rozdělen zavedením dvousměnného provozu na polovinu.



Graf 7 Poměr interních činností a skenování po optimalizaci

Průchodnost zařízení je po optimalizaci 2,8 součástí za směnu a průměrná doba interních činností na jednu součást je podle vzorce (10) 0,65 hodiny. Oproti předchozím 1,5 hodiny na jednu součást se jedná o reálné zkrácení interních časů metodou SMED o 0,85 hodiny, tj. zkrácení interních časů o 57%.

4.1.1 Skenování součástí s dlouhou dobou skenování po optimalizaci

Z výše uvedeného grafu 7 je také rozpoznatelné, kolik hodin bylo za tři týdny skenováno mimo dobu přítomnosti pracovníka, tzn. ve třetí směně. Doba skenování ve třetí směně je podle vzorce 14 pouhých 11,4 hodiny.

$$T_{sc3} = \sum t_s - T_s * n_s \quad (14)$$

T_{sc3} celková doba skenování ve třetí směně

T_s průměrná doba skenování ve směně

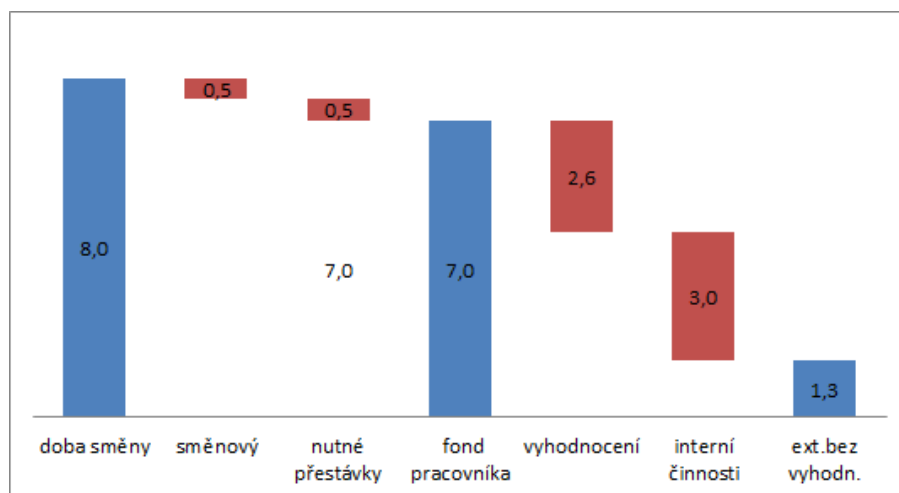
T doba směny

n_s počet směn

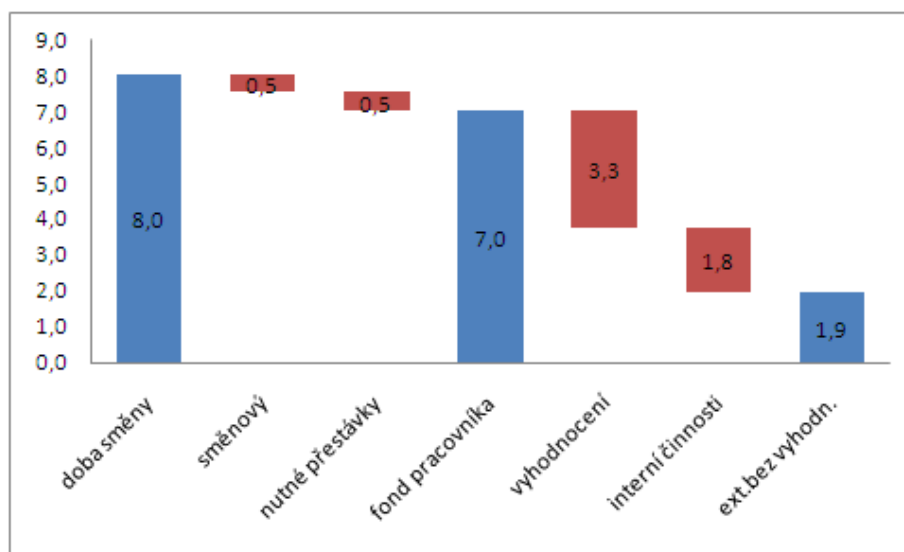
Ve třetí směně bylo skenováno pouhých 11,4 hodin za tři týdny. Skenování součástí s dlouhou dobou skenování na konci dvousměnného provozu viz kap. 3.2.5 zatím není z důvodu systému FIFO zásobníku pro co nejrychlejší uspokojení zákazníka využíváno.

4.1.2 Vytížení pracovníka po optimalizaci

Z výše uvedené tabulky Tab. 4.1 po optimalizaci byly opět dopočítány údaje o externích a interních činnostech pro níže uvedené grafy, stejně jako v kapitole 3.2.2. Po porovnání grafů vytížení pracovníka před optimalizací a po optimalizaci vidíme, že pracovník dokáže vyhodnocovat o 0,7 hodiny více než za stavu před optimalizací. Také je zde dobře viditelný výsledek přesunu interních činností do externích a jejich celkové zkrácení.



Graf 8 Vytížení pracovníka před optimalizací



Graf 9 Vytížení pracovníka po optimalizaci

4.1.3 Vyhodnocení upínacího systému Matrix

Z namátkového sledování a poznatků obsluhy bylo zjištěno, že ca. 70% kovových součástí lze upínat přímo do komponentů upínacího systému Matrix na jedné nebo více podpěrách. U zbylých součástí je potřeba přidávat plastové či jiné podpěry.

V případě skenování výřezů plastových součástí, které leží nad obrysem horní hrany plastových čepů, lze tento upínací systém použít také. Menší plastové součásti nebo plastové součásti, které se skenují celé, mohou být upnuty pomocí jednoduchého polystyrenového přípravku a postaveny mezi čepy upínacího systému Matrix, aby se dostali do potřebné výšky vůči zdroji rentgenového záření a detektoru. Pro přibližně 70% plastových skenovaných součástí je potřeba přesto použít polystyrenový držák. U některých součástí je potřeba náročnějšího upínání za pomoci upínacího systému a podpěrných plastových přípravků. Po zavedení upínacího systému se zkrátila průměrná doba upínání na max. 60 minut. Skenované vzorky jsou lépe zajištěny proti pohybu během skenování. Tím se zvýšila jistota procesu. Počet součástí, u kterých docházelo k pohybu během skenování, byl snížen na 1%.

4.1.4 Zhodnocení optimalizací ukazateli metody Lean Six Sigma

Po optimalizaci byl zhodnocen stav procesu dle ukazatelů metodiky Lean Six Sigma. Tato metodika a do ní vstupující hodnoty jsou popsány v kapitole 3.2.1.

$$PLT = \frac{WIP}{P_p} = \frac{15}{5,6} = 2,7 \text{ dne} \quad (7)$$

$$PCE = \frac{VA \text{ TIME}}{PLT} = \frac{3,4}{65} = 5,2 \% \quad (8)$$

$$VA \text{ TIME} = t_{sd} + t_{vd} = 2,2 + 1,2 = 3,4 \quad (9)$$

Zákazník dostane svůj výsledek za 2,7 dne. V tomto období je třeba informovat zákazníky, že se zkrátila doba dodání měření o polovinu a eventuálně hledat nová vytížení stroje. Dále byla zvýšena účinnost cyklu z 2% na 5,2%. U součástí s dlouhou dobou skenování je potřeba určit priority, neboť se může prodloužit jejich průběžná doba dodání.

4.2 Finanční zhodnocení optimalizací

Z tabulky 4.2 návratnosti nákladů za zařízení je viditelné, že ve Škoda Auto a.s požadovaná návratnost (životnost) zařízení pět let bude dosažena při minimálním využití zařízení 2000 hodin za rok, tj. 250 pracovních dní 8 hodin denně.

Z tabulky Tab. 3.3 je zřejmé, že za sledovaných 27 dní před optimalizací bylo skenováno pouhých 122 hodin, tzn. 4,5 hodiny za den. Při využitelnosti stroje 250 dní v roce je to 1 125 hodin za rok. Pokud bereme v úvahu, že stroj přináší přidanou hodnotu pouze v době skenování, tak by tato skutečnost znamenala překročení controllíngem zadané doby návratnosti zařízení.

Tab. 4.2 Návratnost zařízení

Pořizovací cena		16392750	Kč
Příkon	2,4 kW	2,622	Kč/kW
Údržba	3% z ceny	491782,5	/rok
Využití zařízení za rok	2000 hod		
Životnost zařízení	5 let		
Spotřební materiál		10000	Kč
Palivo	0 l/hod		
Cena provozu zkušebního zařízení			
Cena zařízení		1639,3	Kč/hod
Údržba		245,9	Kč/hod
Energie		6,29	Kč/hod
Spotřební materiál		5	Kč/hod
Palivo		0	Kč/hod
Celkové náklady za zkoušku		1896,5	Kč/hod
Náklady za práci		1099	Kč/hod
Pracnost zkoušky		1	hod
Použití počítače		10	Kč/hod
Celková cena zkoušky		3005,5	x doba měření

4.2.1 Finanční zhodnocení stavu před optimalizací

Pro finanční zhodnocení a porovnání optimalizací byla převzata z výše uvedené Tab. 4.2 cena za jednu hodinu skenování 1 896,- Kč, která obsahuje i údržbu stroje a cenu energie.

Náklady na práci pracovníka včetně vyhodnocení byly počítány paušální cenou 1 109 Kč za hodinu. V této ceně jsou započítány i náklady za použití grafické stanice, kterou pracovník využívá pro vyhodnocení (viz. tab. 5). Z těchto údajů lze vypočítat průměrné náklady za jednu zkoušku před i po optimalizaci.

Náklady na jednu zkoušku před optimalizací:

$$NZ = \frac{\sum t_s * Ps + n_s * T * Np}{n} \quad (15)$$

NZ náklady za zkoušku [Kč]

t_s doba skenování jednoho vzorku [hod]

Ps sazba za hodinu stroje [Kč]

n_s počet směn

T počet hodin ve směně

Np náklady za hodinu práce [Kč]

n počet zkoušek za sledované období

$$NZ = \frac{121 \cdot 1896 + 27 \cdot 8 \cdot 1109}{54} = 8\,684 \text{ Kč}$$

Náklady na jednu zkoušku před optimalizací jsou 8 684,- Kč. Počítáme-li se současnou potřebou 1 400 zkoušek za rok, jedná se o roční náklady dle vzorce (16) ve výši 12 157 600 Kč.

$$NR = n_{zr} \cdot NZ \quad (16)$$

NR roční náklady za zkoušky [Kč]

$$NR = 1\,400 \cdot 8\,684 = 12\,157\,600 \text{ Kč}$$

4.2.2 Finanční zhodnocení stavu po optimalizaci a porovnání

Při finančním ohodnocení stavu po optimalizaci bylo postupováno stejně jako v předchozí kapitole:

$$NZ = \frac{189 \cdot 1\,896 + 30 \cdot 8 \cdot 1\,109}{84} = 7\,435 \text{ Kč} \quad (15)$$

$$NR = 1\,400 \cdot 7\,435 = 10\,409\,000 \text{ Kč} \quad (16)$$

Tab. 4.3 Porovnání nákladů

Druh nákladů	Náklady před optimalizací (Kč)	Náklady po optimalizaci inkl. investice [Kč]
1400 zkoušek /rok	12 157 600	10 409 000
Upínací systém	0	271320
Přípravné stoly, regály	0	50000
Náklady celkem	12 157 600	10 730 320

Z výsledků v tabulce 4.3 byla vypočítána úspora v prvním roce po optimalizaci ve výši 1 427 280 Kč oproti stavu před optimalizací.

Doba návratnosti investice

Z celkových nákladů na investici pro dosažení úspor a z dosažené úspory je možné vypočítat dobu návratnosti investice.

$$N = \frac{IN}{Z} = \frac{271320 + 50000}{1427280} = 0,23 \text{ roku} = 2,8 \text{ měsíce} \quad (17)$$

N doba návratnosti

IN výše investice

Z roční úspora

4.2.3 Finanční porovnání s externím dodavatelem

Při finančním porovnání s externím dodavatelem je potřeba vycházet z dlouhé průběžné doby zakázky, neboť podobné zařízení se v okolí Mladé Boleslavi nenalézá. Cena zkoušek včetně dopravy u zahraničních dodavatelů tomografických služeb se pohybuje kolem ca. 52 000,- Kč za porovnatelnou zkoušku.

5 Diskuze výsledků

Experimentální část této bakalářské práce se zabývá zvýšením efektivity procesu měření na pracovišti měřicího zařízení Tomoscope HV Compact 225 kV od firmy Werth. Toto pracoviště uspokojuje poptávky jednotlivých kontrolních oddělení firmy ŠKODA AUTO a.s.

Vzhledem k velmi nízkému počtu měřených vzorků na pracovišti za jednu směnu byla z historických údajů zapisovaných obsluhou do knihy zakázek provedena jednoduchá statistická analýza pro získání časového přehledu o procesu. Na analýzu bylo použito 350 doposud naskenovaných vzorků. Tato analýza vykazovala velmi vysokou časovou variabilitu procesu u jednotlivých měřených součástí.

Další částí této analýzy jsou bodové grafy pro zjištění rozložení variabilních hodnot. Grafy potvrdily, že obě zařízení, jak CT zařízení, tak grafickou stanici, dokáže obsluhovat jeden pracovník. Dále ukázaly, že se doba skenování u 80% součástí pohybuje od 0,75 hodiny do 2,5 hodiny. Ukázaly také na možnost optimalizace přesunem součástí s dlouhou dobou skenování na konec směny. Tímto poukázaly na možnost dosažení většího počtu odpracovaných součástí za směnu při správně odhadnutém pořadí součástí.

Dále byla provedena výběrová chronometráž interních časů u 54 skenovaných vzorků během 27-denního bezporuchového chodu stroje a tím byly získány další vstupní informace. Na základě těchto pozorování byla zjištěna slabá místa procesu. Jako nejslabší místo celého procesu byl zjištěn proces výměny vzorků a přípravy upínacího systému vzorku za klidu stroje. Po té byly zvoleny vhodné metody optimalizace celého pracoviště

Jako první krok byla provedena analýza procesu podle metody Lean Six Sigma, při které byla zjištěna dlouhá průběžná doba zpracování zakázky a velmi nízká účinnost cyklu. Pro zkrácení průběžné doby a zvýšení propustnosti procesu bylo postupováno podle metody SMED.

Pro analýzu SMED byl z hodnot 27-denního sledování a chronometráže interních časů u 54 vzorků vypočítán průměrný podíl interních časů ve směně.

Pro lepší porovnatelnost výsledků byly interní časy přepočítány na jeden skenovaný vzorek.

Na základě chronometráže a pozorování během výměny vzorku byly optimalizovány interní časy a byl zakoupen upínací systém pro jejich další zkrácení. Doba zkrácení interních časů metodou SMED byla prověřena výběrovou chronometráží u 84 vzorků, které byly skenovány ve 30 směnách.

Pro porovnání hodnot byl zvolen stejný způsob výpočtu jako v kapitole 3.2.2. Porovnáním bylo zjištěno zkrácení doby interních časů o 57%. Plánované zvýšení průchodnosti zařízení zavedením nočního skenování dílů s dlouhou dobou skenování podle kapitoly 3.2.5. není prováděno z důvodů stále platícího FIFO zásobníku. Ve třetí směně bez přítomnosti obsluhy bylo skenováno pouhých 11,4 hodin za 30 směn.

Pro výrazné snížení průběžné doby zakázky byl zaveden dvousměnný provoz. Dvousměnným provozem a zvýšenou průchodností zařízení bylo dosaženo zkrácení průběžné doby o 64%. Podle analýzy Lean Six Sigma byla opět prověřena účinnost cyklu stroje a bylo zjištěno její zvýšení z 2% na 5,2%.

V kapitole 4.2 jsou uvedeny finanční přínosy optimalizace. V prvním kroku této kapitoly bylo provedeno vyhodnocení v ohledu na návratnost investice do CT zařízení ve stavu před optimalizací. Bylo zjištěno, že za původního stavu by byla překročena controllingem stanovená doba návratnosti zařízení 5 let. Po optimalizaci bylo dosaženo návratnosti zařízení za 3,5 roku.

V poslední kroku experimentální části bylo provedeno finanční vyhodnocení z hlediska průměrné ceny za jednu zkoušku a cenové porovnání včetně investice. Návratnost ceny dodatečné investice za upínací systém je 2,8 měsíce při stejném druhu provozu a propustnosti zařízení 5,6 součástí za den.

6 Závěr

Rentgenová tomografie zvyšuje efektivitu kontrolních činností v oblasti odhalování nedostatků v materiálech a ve vnitřních částech komponentů používaných ve firmě ŠKODA AUTO a.s. pro výrobu automobilů.

Cílem bakalářské práce bylo zvýšení efektivity kontrolních činností na nově zavedeném pracovišti měřicího zařízení s rentgenovou počítačovou tomografií ve firmě ŠKODA AUTO a.s., závod Mladá Boleslav. Byla provedena analýza stávajícího stavu na pracovišti rentgenové tomografie v měřicím centru oddělení kontroly kvality. Byla představena metodika optimalizace pracoviště s velmi variabilními vstupy.

Prvním bodem metodiky bylo statistické zjištění předpokladů pro možné optimalizace. Byla určena variabilita časů skenování u 350 součástí měřených na pracovišti a variabilita poměru dob vyhodnocení a skenování. Na základě těchto analýz bylo zjištěno, že pro obsluhu pracoviště je dostačující jeden pracovník, který obsluhuje jak CT zařízení, tak grafickou stanici.

V druhém bodě byly optimalizovány činnosti, které přímo souvisí s využitím drahého CT zařízení. Byl zakoupen upínací systém, přípravný stůl a regály. Byly sníženy interní časy a došlo ke zvýšení vytížení pracovníka činnostmi přinášejícími přidanou hodnotu procesu měření. I když se jedná o kreativní činnosti, které jsou silně závislé na pracovníkovi, byly stanoveny jasné priority pracovních úkolů, které je třeba dodržovat.

V našem případě kreativního procesu bylo zjištěno, že z ekonomického hlediska lze relativně malými investicemi dosáhnout vysokých úspor. Doba návratnosti dodatečně investovaných prostředků byla necelý čtvrtrok.

Výsledkem předložené bakalářské práce je návrh řešení, který byl na pracovišti rentgenové tomografie zrealizován. Zavedením návrhu do praxe bylo dosaženo zvýšení efektivity měření a omezení neproduktivních časů stroje a pracovníka. Z dosažených uspokojivých výsledků lze konstatovat, že provedené optimalizace byly úspěšné a cíl bakalářské práce byl splněn.

Literatura

- [1] Weinzierl, J., *Produktreifegrad-Management in unternehmensübergreifenden Entwicklungsnetzwerken*. (Dissertation)., Dortmund: Verlag Praxis-wissen, 2006. ISBN10: 3-89957-041-3
- [2] ZABLER, E., ROSENBERG, M., RALF, B., *(Röntgen-Computertomographie in der industriellen Fertigung (Kraftfahrzeug-Zulieferer) – Anwendungen und Entwicklungsziel*. Stuttgart: Zentralabteilung Forschung und Vorausbildung, Angewandte Physik. [online]. (FV/FLP). [cit. 09. září 2013]. Dostupné na: <http://www.ndt.net/article/dgzfp03/papers/v17/v17.htm>
- [3] *Grundlagen und Anwendungen industrieller Computertomographie*, [online]. Fraunhofer Institut, 2007. [cit. 20. září 2013]. Dostupné na: <http://www.ndt.net/article/dgzfp07/Inhalt/v15.pdf>
- [4] CHRISTOPH, R., NEUMANN, J., *Multisensor-Koordinatenmessstechnik*. München: Süddeutscher Verlag onpact GmbH, 81677, 2013, 129 stran. ISBN 978-3-86236-050
- [5] MERY, D., JAEGER, T., FILBERT, D., *Die vollautomatische Röntgenprüfanlage zur zerstörungsfreien Prüfung von Gußteilen* [cit. 25. září 2013]. Dostupné na: <http://web.ing.puc.cl/~dmery/Prints/ISI-Journals/2001-MatPruef.pdf>
- [6] PFEIFER, T., SCHMITT, R., *Fertigungsmesstechnik*. 2. vyd. München: Oldenbourg Verlag, 2001. ISBN 3-486-25712-9
- [7] CHRISTOPH, R., NEUMANN, J. *Röntgentomografie in der industriellen Messtechnik*. 1. vyd. München: Süddeutscher Verlag onpact GmbH, 2011. ISBN 978-3-86236-009-3

- [8] DUTSCHKE, W.; KEFERSTEIN C., P. *Praxisorientierte Grundlagen, moderne Messverfahren*. Wiesbaden Teubner, 2005, ISBN 3835101501
- [9] *Počítačová tomografie a Hounsfieldovi jednotky*, [online], Internetové materiály pro studenty českých a slovenských lékařských fakult. [cit. 9. září 2013]. Dostupné na: http://www.wikiskripta.eu/index.php/Po%C4%8D%C3%Adta%C4%8Dov%C3%A1_tomografie_a_Hounsfieldovy_jednotky#Princip_po.C4.8D.C3.ADta.C4.8Dov.C3.A9_tomografie.
- [10] REICHL, J., VŠETIČKA, *Encyklopedie fyziky*. 2006 – 2013. [cit. 1. října 2013]. Dostupné na: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/print/540-rentgenove-zareni>.
- [11] KUSALA, J. *Rentgenové záření*, Součást vzdělávacího programu svět energie, 2004. [cit. 09. září 2013]. Dostupné na: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/rtg/rtg.htm>
- [12] BUDIŠ, M. *Srovnání možností uplatnění rentgenové mikrotomografie v metrologii konvenčními přístupy* [Diplomová práce]. Brno, VUT Brno, 2013.
- [13] ŠKODA AUTO a.s., Mladá Boleslav: *CT-zařízení v oddělení kontroly kvality GQF3*. 2013.
- [14] WERTH MESSTECHNIK GMBH, Giesen: *Bedienanleitung Werth Tomoscope HV Compact..* [B.r.]
- [15] MATRIX GMBH [online], Stuttgart: *Feinmechanik, Labor, und Messtechnik*. [cit. 9. září 2013]. Dostupné na: <http://www.matrix-innovations.com/de.html>

- [16] VAVRUŠKA, J. *Metody průmyslového inženýrství 1*. TU v Liberci, 2011. [cit. 09.září 2013]. Dostupné na: http://educom.tul.cz/educom/inovace/VSY_II/VY_03_075-metody%20pr%C5%AFmyslov%C3%A9ho%20in%C5%BEen%C3%BDrstv%C3%AD%201_MZ_4.pdf
- [17] ŠKODA AUTO a.s., Mladá Boleslav: *Systém řízení kvality*. 1. vyd. 2013
- [18] NENADÁL, J. a kol. *Moderní management jakosti*. 1. vyd. Praha: Management Press, 2011. ISBN 978-80-7261-186-7

Seznam obrázků, tabulek a grafů

Obr. 1 Magický trojúhelník [1]

Obr. 2 Pěnová vložka předního opěradla [13]

Obr. 4 Škrticí klapka s prasklým magnetickým ventilem [13]

Obr. 3 Řez pouzdra termostatu - porovnání s CAD-daty [13]

Obr. 5 Princip metody filtrované zpětné projekce [12]

Obr. 6 Konstrukce s křížově nastavitelným otočným stolem [7]

Obr. 7 Vznik rentgenového záření v rentgenové trubici [12]

Obr. 8 Porovnání hloubky prozáření při stejném výkonu [7]

Obr. 9 Řádkový a plošný senzor [10]

Obr. 10 Spirála kvality [17]

Obr. 11 Umístění CT zařízení v konceptu kvality [17]

Obr. 12 Konstrukce CT zařízení [14]

Obr. 13 Maximální prostor pro upínání součástí

Obr. 15 Znázornění procesu měření

Obr. 15 Rozpracovanost na pracovišti

Obr. 16 Přesun interních činností do externích

Obr. 17 Ukázka upnutí součástí do upínacího systému [13]

Obr. 18 Layout pracoviště po optimalizaci

Tab. 3.1 Výtažek z knihy zakázek [13]

Tab. 3.2 Statistické veličiny 350 změřených součástí

Tab. 3.3 Výstup z 27-denního sledování

Tab. 4.1 Výsledky sledování po optimalizaci

Tab. 4.2 Návratnost zařízení

Tab. 4.3 Porovnání nákladů

Graf 1 Křivky napětí pro různé materiály [14]

Graf 2 Bodový diagram rozložení 350 vzorků podle doby skenování

Graf 3 Rozložení poměru doby vyhodnocení a skenování

Graf 4: Poměr využití a stání stroje ve směně

Graf 5 Rozložení časů ve směně

Graf 6 Vytížení pracovníka před optimalizací interních činností

Graf 7 Poměr interních činností a skenování po optimalizaci

Graf 8 Vytížení pracovníka před optimalizací

Graf 9 Vytížení pracovníka po optimalizaci

Seznam příloh

Příloha 1 Tabulka 350 měřených vzorků [13]

Příloha 2 Sledování časů ve 27 směnách před optimalizací

Příloha 3 Sledování časů ve 30 směnách po optimalizaci

Příloha 4 Požadavek na analýzu

Příloha 1 Tabulka 350 měřených vzorků [13]

Název dílu	Počet dílů	Skenování [hod]	Hodnocení [hod]				
ložisko oblé	1	5,25	1,00	zapalovací svíčka BRISK	1	1,00	0,50
ložisko oblé	1	5,25	1,00	zapalovací svíčka BRISK	1	1,00	0,50
blok válců	1	6,50	1,50	nýt diferenciálu	1	1,00	0,50
snímač teploty chladicí kapaliny	1	6,25	1,50	nýt diferenciálu	1	1,00	0,50
zap. sv. BRISK - test (kapalina)	1	2,00	0,50	nýt diferenciálu	1	1,00	0,50
díl vnější kapoty	1	2,00	0,50	nýt diferenciálu	1	1,00	0,50
díl vnější kapoty	1	2,00	0,50	nýt diferenciálu	1	1,00	0,50
díl vnější kapoty	1	2,00	0,50	nýt diferenciálu	1	1,00	0,50
zadní skupinová svítlna	1	8,00	2,00	objímka žárovky	1	1,00	0,50
snímač teploty	1	5,75	1,50	objímka žárovky	1	1,00	0,50
5. dveře	1	5,70	1,50	objímka žárovky	1	1,00	0,50
chladič oleje	1	3,50	1,00	objímka žárovky	1	1,00	0,50
snímač teploty	1	3,50	1,00	objímka žárovky	1	1,00	0,50
třmen	1	7,00	2,00	objímka žárovky	1	1,00	0,50
jádro synchronní spojky	1	7,00	2,00	objímka žárovky	1	1,00	0,50
otočný spínač světel	1	7,00	2,00	objímka žárovky	1	1,00	0,50
5. dveře	1	2,00	0,67	závěs dvěří	1	1,25	0,63
5. dveře	1	2,00	0,67	závěs dvěří	1	1,25	0,63
5. dveře	1	2,00	0,67	závěs dvěří	1	1,25	0,63
hydrozdvihátko	1	2,25	0,75	závěs dvěří	1	1,25	0,63
hydrozdvihátko	1	2,25	0,75	skříň řazení	1	1,50	0,75
vstříkovací ventil	1	4,50	1,50	skříň řazení	1	1,50	0,75
snímač teploty	1	7,50	2,50	vstříkovací ventil	1	1,67	0,83
5. dveře	1	4,90	1,67	vstříkovací ventil	1	1,67	0,83
5. dveře	1	4,90	1,67	vstříkovací ventil	1	1,67	0,83
5. dveře	1	4,90	1,67	svarový bod - A5	1	2,00	1,00
vřetenový pohon	1	7,00	2,50	spínač zpětného světla	1	2,00	1,00
vřetenový pohon	1	7,00	2,50	ovládací klika	1	2,00	1,00
kryt	1	2,75	1,00	ovládací klika	1	2,00	1,00
sestava zámku PZ dveří	1	4,00	1,50	lambda sonda	1	2,50	1,25
těsnící lišta	1	4,00	1,50	lambda sonda	1	2,50	1,25
těsnící lišta	1	4,00	1,50	zapalovací svíčka BRISK	1	3,00	1,50
obložení	1	8,00	3,00	zapalovací svíčka BRISK	1	3,00	1,50
spínač nastavení světel	1	5,25	2,00	hnací hřídel	1	4,00	2,00
obložení	1	5,25	2,00	madlo	1	4,00	2,00
motor spouštěče oken	1	5,25	2,00	vnitřní zpět. zrcátko	1	8,00	4,00
otočný spínač světel	1	4,33	1,67	vedení skla	1	1,88	1,00
otočný spínač světel	1	4,33	1,67	vedení skla	1	1,88	1,00
otočný spínač světel	1	4,33	1,67	5. dveře	1	1,40	0,75
zapalovací kabel	1	3,20	1,25	5. dveře	1	1,35	0,75
objímka žárovky	1	1,25	0,50	5. dveře	1	1,35	0,75
objímka žárovky	1	1,25	0,50	stírací těsnění vnitřní přední	1	4,40	2,50
zátka / blok motoru	1	2,50	1,00	zpět. zrc. vnější	1	1,75	1,00
zátka / blok motoru	1	2,50	1,00	tav. spoj SK251 (stře.,post.,tes.k.)	1	1,75	1,00
držák olej. filtru	1	2,50	1,00	tav. spoj SK251 (stře.,post.,tes.k.)	1	1,75	1,00
držák olej. filtru	1	2,50	1,00	vstřík. vent. pal. - Magneti Marelli	1	2,63	1,50
lambda sonda	1	2,50	1,00	vstřík. vent. pal. - Magneti Marelli	1	2,63	1,50
lambda sonda	1	2,50	1,00	hlava válců (výřez)	1	3,50	2,00
lambda sonda	1	2,50	1,00	snímač teploty	1	3,40	2,00
patka antény	1	2,50	1,00	odlučovač oleje	1	4,25	2,50
vstřík. vent. pal. - Magneti Marelli	1	2,50	1,00	zapalovací svíčka	1	1,25	0,75
vstřík. vent. pal. - Magneti Marelli	1	2,50	1,00	zapalovací svíčka	1	1,25	0,75
vstřík. vent. pal. - Magneti Marelli	1	2,50	1,00	palivové čerpadlo	1	1,25	0,75
vstřík. vent. pal. - Magneti Marelli	1	2,50	1,00	palivové čerpadlo	1	1,25	0,75
vstřík. vent. pal. - Magneti Marelli	1	2,50	1,00	zapalovací svíčka	1	1,25	0,75
vstřík. vent. pal. - Magneti Marelli	1	2,50	1,00	zapalovací svíčka	1	1,25	0,75
jádro synchronní spojky	1	2,50	1,00	rukojeť řadící páky	1	1,25	0,75
jádro synchronní spojky	1	2,50	1,00	rukojeť řadící páky	1	1,25	0,75
jádro synchronní spojky	1	2,50	1,00	rukojeť řadící páky	1	1,25	0,75
zadní skupinová svítlna	1	7,50	3,00	páka ruční brzdy	1	1,67	1,00
ochranná lišta	1	1,20	0,50	páka ruční brzdy	1	1,67	1,00
ochranná lišta	1	1,20	0,50	páka ruční brzdy	1	1,67	1,00
5. dveře Roomster	1	3,00	1,25	brzdové obložení	1	2,50	1,50
modul spínačů	1	6,00	2,50	lambda sonda	1	2,50	1,50
snímač teploty	1	3,50	1,50	5. dveře SK371	1	2,50	1,50
kryt	1	7,00	3,00	vstřík.vent.pal.(Mag.Marelli/BOSCH)	1	2,00	1,25
5. dveře Roomster	1	2,90	1,25	vstřík.vent.pal.(Mag.Marelli/BOSCH)	1	2,00	1,25
otočný spínač	1	2,25	1,00	blok válců (výřezy)	1	1,13	0,75
zapalovací svíčka	1	2,25	1,00	blok válců (výřezy)	1	1,13	0,75
zapalovací svíčka	1	2,25	1,00	otoč. spínač světel	1	1,50	1,00
5. dveře	1	2,25	1,00	5. dveře - Čína	1	1,50	1,00
5. dveře	1	2,25	1,00	hlava válců (výřez)	1	1,50	1,00
5. dveře	1	2,25	1,00	zapalovací svíčka BRISK	1	1,50	1,00
5. dveře	1	2,25	1,00	zapalovací svíčka BRISK	1	1,50	1,00
ofukovač	1	2,25	1,00	řídící jednotka airbagu	1	1,50	1,00
ofukovač	1	2,25	1,00	senzor brzd. světla	1	1,50	1,00
vyhazovač	1	1,63	0,75	senzor brzd. světla	1	1,50	1,00
vyhazovač	1	1,63	0,75	vicedřážkový řemen	1	1,50	1,00
vicedřážkový řemen	1	3,25	1,50	vicedřážkový řemen	1	1,50	1,00
blok válců	1	1,42	0,67	nýt diferenciálu	1	1,50	1,00
blok válců	1	1,42	0,67	nýt diferenciálu	1	1,50	1,00
blok válců	1	1,42	0,67	nýt diferenciálu	1	1,50	1,00
spínačový modul	1	3,44	1,63	nýt diferenciálu	1	1,50	1,00
spínačový modul	1	3,44	1,63	nýt diferenciálu	1	1,50	1,00
spínačový modul	1	3,44	1,63	nýt diferenciálu	1	1,50	1,00
spínačový modul	1	3,44	1,63	nýt diferenciálu	1	1,50	1,00
spínačový modul	1	3,44	1,63	nýt diferenciálu	1	1,50	1,00
objímka žárovky	1	1,00	0,50	nýt diferenciálu	1	1,50	1,00
objímka žárovky	1	1,00	0,50	nýt diferenciálu	1	1,50	1,00
hagus,YETI	1	1,00	0,50	nýt diferenciálu	1	1,50	1,00
hagus,YETI	1	1,00	0,50	zapalovací svíčka	1	1,25	0,83
blok válců (výřezy)	1	1,00	0,50	zapalovací svíčka	1	1,25	0,83
blok válců (výřezy)	1	1,00	0,50	blok válců (výřezy)	1	1,08	0,75
blok válců (výřezy)	1	1,00	0,50	blok válců (výřezy)	1	1,08	0,75
blok válců (výřezy)	1	1,00	0,50	blok válců (výřezy)	1	1,08	0,75
blok válců (výřezy)	1	1,00	0,50	blok válců (výřezy)	1	1,08	0,75
zapalovací svíčka BRISK	1	1,00	0,50	blok válců (výřezy)	1	1,08	0,75
zapalovací svíčka BRISK	1	1,00	0,50	blok válců (výřezy)	1	1,08	0,75

prašnice	1	0,75	0,54	osvětlení SPZ	1	2,00	2,00
prašnice	1	0,75	0,54	osvětlení SPZ	1	2,00	2,00
prašnice	1	0,75	0,54	panoromaticná střecha	1	5,00	5,00
prašnice	1	0,75	0,54	zapalovací trafo	1	1,40	1,50
prašnice	1	0,75	0,54	přítahovač + kryt	1	3,25	3,50
prašnice	1	0,75	0,54	jednotka airbagu	1	0,90	1,00
prašnice	1	0,75	0,54	jednotka airbagu	1	0,90	1,00
prašnice	1	0,75	0,54	jednotka airbagu	1	0,90	1,00
nýt diferenciálu	1	1,19	0,88	jednotka airbagu	1	0,90	1,00
nýt diferenciálu	1	1,19	0,88	jednotka airbagu	1	0,90	1,00
nýt diferenciálu	1	1,19	0,88	jednotka airbagu	1	0,90	1,00
nýt diferenciálu	1	1,19	0,88	jednotka airbagu	1	0,90	1,00
nýt diferenciálu	1	1,19	0,88	jednotka airbagu	1	0,90	1,00
nýt diferenciálu	1	1,19	0,88	jednotka airbagu	1	0,90	1,00
nýt diferenciálu	1	1,19	0,88	vzor dezénu	1	1,25	1,50
nýt diferenciálu	1	1,19	0,88	spínač vyhřívání sedadel	1	1,00	1,25
nýt diferenciálu	1	1,19	0,88	spínač vyhřívání sedadel	1	1,00	1,25
nýt diferenciálu	1	1,19	0,88	otočný spínač světel	1	1,00	1,25
5. dveře	1	1,35	1,00	otočný spínač světel	1	1,00	1,25
5. dveře	1	1,35	1,00	podtlaková hadice	1	1,00	1,25
5. dveře	1	1,35	1,00	podtlaková hadice	1	1,00	1,25
5. dveře	1	1,35	1,00	čerpadlo sání	1	1,00	1,25
vstříkovací ventil	1	1,00	0,75	kryt kanálu vodiče	1	1,00	1,25
brzdové obložení	1	1,00	0,75	kryt kanálu vodiče	1	1,00	1,25
brzdové obložení	1	1,00	0,75	kryt kanálu vodiče	1	1,00	1,25
brzdové obložení	1	2,00	1,50	kryt kanálu vodiče	1	1,00	1,25
vymezovací matice	1	2,00	1,50	spínačový modul	1	1,20	1,50
zapalovací svíčka BRISK	1	2,00	1,50	trysky ostřikovače	1	0,75	1,00
zapalovací svíčka BRISK	1	2,00	1,50	trysky ostřikovače	1	0,75	1,00
zapalovací svíčka BRISK	1	2,00	1,50	jednotka airbagu(kryt)	1	1,50	2,00
zapalovací svíčka BRISK	1	2,00	1,50	madlo	1	1,75	2,50
řídící jednotka dveří	1	1,75	1,33	madlo	1	1,75	2,50
řídící jednotka dveří	1	1,75	1,33	spínač	1	1,00	1,50
řídící jednotka dveří	1	1,75	1,33	spínač	1	1,00	1,50
zpět. zrc. vnější	1	2,63	2,00	těsnění (víko zadní)	1	1,00	1,50
zpět. zrc. vnější	1	2,63	2,00	těsnění (víko zadní)	1	1,00	1,50
nýt diferenciálu	1	1,63	1,25	klika ovládací	1	1,00	1,50
nýt diferenciálu	1	1,63	1,25	klika ovládací	1	1,00	1,50
držák	1	1,88	1,50	těleso	1	1,00	1,50
držák	1	1,88	1,50	airbag	1	2,00	3,00
lambda sonda	1	2,50	2,00	5. dveře SK251	1	2,50	4,00
5. dveře SK251	1	2,50	2,00	prašnice	1	0,75	1,25
motor stěrače	1	2,50	2,00	jednotka airbagu(kryty)	1	0,75	1,25
5. dveře Yeti	1	2,50	2,00	jednotka airbagu(kryty)	1	0,75	1,25
5. dveře SK251	1	2,50	2,00	jednotka airbagu(kryty)	1	0,75	1,25
5. dveře Roomster	1	2,50	2,00	jednotka airbagu(kryty)	1	0,75	1,25
modul airbagu	1	3,75	3,00	palivový filtr (rychlospojka)	1	1,75	3,00
jednotka airbagu	1	0,90	0,75	zadní výlň dvěří (podokení profil lim)	1	1,50	3,00
držák	1	1,00	0,83	dálkové ovládání	1	1,50	4,00
držák	1	1,00	0,83	dálkové ovládání	1	1,50	4,00
držák	1	1,00	0,83	lišta	1	1,00	3,00
5. dveře SK251	1	1,50	1,25	otočný spínač světel	1	1,00	3,50
ovládací klika	1	1,50	1,25	relé	1	1,00	4,00
ovládací klika	1	1,50	1,25	SUMA	350	699,84	432,40
otočný spínač světel	1	1,50	1,25				
schránka na brýle	1	3,00	2,50				
spínač ovládání oken	1	2,35	2,00				
spínač ovládání oken	1	2,35	2,00				
znak	1	1,75	1,50				
znak	1	1,75	1,50				
motor stěrače úplný	1	1,45	1,25				
motor stěrače úplný	1	1,45	1,25				
díl přídržný	1	1,00	0,88				
díl přídržný	1	1,00	0,88				
díl přídržný	1	1,00	0,88				
díl přídržný	1	1,00	0,88				
5. dveře SK371	1	1,33	1,17				
jednotka řídící	1	1,13	1,00				
jednotka řídící	1	1,13	1,00				
blok válců (výřezy)	1	1,13	1,00				
blok válců (výřezy)	1	1,13	1,00				
znak	1	1,58	1,50				
znak	1	1,58	1,50				
znak	1	1,58	1,50				
5. dveře	1	1,30	1,25				
prašnice	1	0,75	0,75				
prašnice	1	0,75	0,75				
prašnice	1	0,92	0,92				
prašnice	1	0,92	0,92				
prašnice	1	0,92	0,92				
střední ofukovač (ovládací lamela)	1	1,00	1,00				
přepínač vícefunkční	1	1,00	1,00				
přepínač vícefunkční	1	1,00	1,00				
přepínač vícefunkční	1	1,00	1,00				
přepínač vícefunkční	1	1,00	1,00				
přepínač vícefunkční	1	1,00	1,00				
přepínač vícefunkční	1	1,00	1,00				
přepínač vícefunkční	1	1,00	1,00				
držák	1	1,00	1,00				
prašnice	1	1,00	1,00				
hagus,YETI	1	1,00	1,00				
skříň převodovky - výřez	1	1,00	1,00				
konektor vstříkovacího ventilu	1	1,25	1,25				
konektor vstříkovacího ventilu	1	1,25	1,25				
spona	1	1,25	1,25				
spona	1	1,25	1,25				
spínačový modul	1	1,33	1,33				
spínačový modul	1	1,33	1,33				
napínák řetězu	1	1,50	1,50				
oběhové čerpadlo	1	1,50	1,50				
ovládání klimatizace	1	1,50	1,50				
ovládání klimatizace	1	1,50	1,50				
hlava válců (výřez)	1	2,00	2,00				


Příloha 2 Sledování časů ve 27 směnách před optimalizací

Datum	Název dílu	Počet dílů	Skenování [hod]	Hodnocení [hod]	Interní časy [hod]	Poznámky
2.5.2013	brzdové obložení	1	2	1,5	1,6	porovnání
2.5.2013	chladič oleje	1	3,5	1	2,8	kontrola vnitřních částí
3.5.2013	brzdové obložení	1	2	1,5	1,8	porovnání
3.5.2013	držák	2	3	2,5	3,2	analýza vnitřních vad
6.5.2013	brzdové obložení	1	2,5	1,5	1,7	porovnání
6.5.2013	zátka / blok motoru	1	2,5	1	1,2	kontrola spoje
7.5.2013	zátka / blok motoru	1	2,5	1	0,8	kontrola spoje
7.5.2013	džržák olej. filtru	1	2,5	1	1,8	analýza vnitřních vad
9.5.2013	vstřikovací ventil	1	1	0,75	1,4	kontrola vnitřních částí
9.5.2013	sestava zámku PZ dveří	1	4	1,5	1,6	měření
10.5.2013	vstřikovací ventil	2	5	2,5	3	kontrola vnitřních částí
13.5.2013	senzor brzd. světla	2	2,5	2	2	kontrola vnitřních částí
13.5.2013	palivový filtr	1	1,75	2,5	1,5	měření
14.5.2013	otoč. spínač světel	2	1,5	1	2,1	analýza vnitřních vad
14.5.2013	ovládací klika	2	3	2,5	2,7	měření
15.5.2013	vstřikovací ventil	1	4,5	1,5	2,5	kontrola vnitřních částí
16.5.2013	skříň řazení	2	3	1,5	3,5	analýza vnitřních vad
17.5.2013	zpět. zrc. vnější	2	5,25	4	3	analýza vnitřních vad
20.5.2013	zpět. zrc. vnější	1	1,75	1	1,5	analýza vnitřních vad
20.5.2013	držák	2	3,75	3	0,8	analýza vnitřních vad
21.5.2013	džržák olej. filtru	1	2,5	1	1,8	analýza vnitřních vad
21.5.2013	zapalovací svíčka	2	2,3	1,5	2,4	kontrola vnitřních částí
22.5.2013	palivové čerpadlo	2	2,5	1,5	4	kontrola vnitřních částí
23.5.2013	zapalovací trafo	2	3,6	1,5	2,5	analýza vad
24.5.2013	ovládací klika	2	4	2	4,3	měření
27.5.2013	5. dveře	2	3	1,5	3	analýza vnitřních vad
28.5.2013	zapalovací kabel	1	3,2	1,25	2	kontrola vnitřních částí
28.5.2013	5. dveře	1	1,3	1,25	1,5	analýza vnitřních vad
29.5.2013	hnací hřídel	1	5	2	2	analýza vnitřních vad
30.5.2013	madlo	1	3,5	5	1,5	měření / porovnání s CAD daty
30.5.2013	5. dveře	1	1,4	0,75	1,2	analýza vnitřních vad
31.5.2013	vnitřní zpět. zrcátko	1	5,8	4	1,5	měření
3.6.2013	zapalovací svíčka	2	4	2	2	kontrola vnitřních částí
4.6.2013	5. dveře	2	4,3	2	3	analýza vnitřních vad
5.6.2013	5. dveře	1	6	2	1	analýza vnitřních vad / porovnání
6.6.2013	5. dveře	2	3,5	2	2,9	analýza vnitřních vad
7.6.2013	snímač teploty	1	3,4	2	3	kontrola vnitřních částí
8.6.2013	modul spínačů	1	5,5	3	2	měření / porovnání s CAD daty
SUMA		54	122,3	71	82,1	

Příloha 3 Sledování časů ve 30 směnách po optimalizaci

Datum	Název dílu	Počet dílů	Skenování [hod]	Hodnocení [hod]	Interní časy [hod]	Poznámka
2.9.2013	5. dveře - Čína	1	1,5	1	0,9	analýza vnitřních vad
2.9.2013	spínač ovládání oken	2	4,7	4	1,6	měření
2.9.2013	5. dveře	2	2,7	2	2	analýza vnitřních vad
2.9.2013	otočný spínač světel	1	4,3	1,7	1	měření
3.9.2013	otočný spínač světel	1	4,3	1,7	0,8	měření
3.9.2013	otočný spínač světel	1	4,3	1,7	0,4	měření
3.9.2013	5. dveře	1	4,9	1,7	1	analýza vnitřních vad
4.9.2013	5. dveře	1	4,9	1,7	1	analýza vnitřních vad
4.9.2013	5. dveře	1	4,9	1,7	0,9	analýza vnitřních vad
4.9.2013	lambda sonda	1	2,5	2	0,4	kontrola vnitřních částí
5.9.2013	5. dveře	2	2,7	1,5	1,2	analýza vnitřních vad
5.9.2013	otočný spínač světel	1	3	2,5	0,8	měření/porovnání s CAD daty
5.9.2013	ovládání klimatizace	2	3	3	1,3	měření, porovnání i.O/N.i.O
5.9.2013	ochranná lišta	2	2,4	1	0,8	měření
6.9.2013	páka ruční brzdy	3	5	3	2	měření / porovnání
6.9.2013	rukojeť řadicí páky	4	5	3	3	porovnání
6.9.2013	svarový bod - A5	1	2	1		analýza vad
9.9.2013	5. dveře	2	2,7	2	1,6	analýza vad / měření
9.9.2013	zapalovací svíčka BRISK	4	4	2	2	analýza vnitřních vad
9.9.2013	spínač zpětného světla	1	2	1	0,8	porovnání
9.9.2013	modul airbagu	1	3,75	3	0,6	analýza vnitřních vad
10.9.2013	zapalovací svíčka BRISK	4	8	6	2	analýza vnitřních vad
11.9.2013	ložisko oblé	1	5,25	1	0,8	analýza vnitřních vad
11.9.2013	ložisko oblé	1	5,25	1	0,6	analýza vnitřních vad
11.9.2013	zap. sv. BRISK	1	2	0,5	0,5	analýza vnitřních vad
12.9.2013	vymezovací matice	1	2	1,5	0,8	analýza vad
12.9.2013	tav. spoj SK251	2	3,5	2	1,6	analýza vnitřních vad
12.9.2013	lambda sonda	2	5	2,5	0,9	kontrola vnitřních částí
12.9.2013	chladič oleje	1	3,5	1	1	kontrola vnitřních částí
13.9.2013	objímka žárovky	8	11	4	4	kontrola vnitřních částí
16.9.2013	střední ofukovač	1	0,75	0,75	1	kontrola vnitřních částí
16.9.2013	vstřík. vent. pal.	2	5,25	3	1	kontrola vnitřních částí
16.9.2013	odlučovač oleje	1	4,25	2,5	1	porovnání s CAD
16.9.2013	snímač teploty	1	5,75	1,5	0,8	kontrola vnitřních částí
18.9.2013	těsnící lišta	2	8	3	0,8	analýza vnitřních vad
18.9.2013	vstřík. vent. pal.	5	5	2	2,5	kontrola vnitřních částí
19.9.2013	lambda sonda	1	2,5	1,5	0,5	kontrola vnitřních částí
19.9.2013	schránka na brýle	1	3	2,5	1	porovnání s CAD daty
19.9.2013	madlo	1	4	2	1	porovnání s CAD daty
19.9.2013	hlava válců (výřez)	1	1,5	1	0,7	analýza vnitřních vad
19.9.2013	blok válců	1	6	1,5	0,7	analýza vnitřních vad
20.9.2013	5. dveře Roomster	1	3	1,25	1	analýza vad / měření
20.9.2013	vstřík. vent. pal.	2	4	2,5	1	kontrola vnitřních částí
20.9.2013	spínač nastavení světel	1	5,25	2	0,8	měření
23.9.2013	kryt	1	2,75	1	1	porovnání s CAD daty
23.9.2013	blok válců	3	4,25	2	2	analýza vnitřních vad
23.9.2013	otočný spínač světel	1	1	3,5	0,8	měření / porovnání s CAD daty
23.9.2013	konektor vstříkovacího ventilu	2	2,5	2,5	0,5	kontrola vnitřních částí
SUMA		84	188,9	97,5	54,4	

Příloha 4 Požadavek na analýzu

ŠkodaAuto Mladá Boleslav		oddělení: GQF3/3	CT-Zařízení GQF3		ŠKODA 
Požadavek na analýzu					
Číslo zakázky		/ 2013		Přílohy:	
Typ:		Název dílu::			
Dodavatel:			Číslo dílu:		
Datum výroby:			Výrobní číslo:		
Zadal:				Datum:	
Definice problému: Definice oblasti skenování (popis, foto, obrázek) Hledaná závada: Druh měření (např. CAD): Formát výstupu (např *.stl, *.ppt): *.ppt Druh prezentace: Počet skenovaných součástí: Bude součást sledována průběžně: Interval sledování: Časové období sledování					
Výsledek zkoušky :					
Protokol č.:					
Vypracoval:		Ověřil:		Datum:	
Účastníci:					
Rozdělovník:					